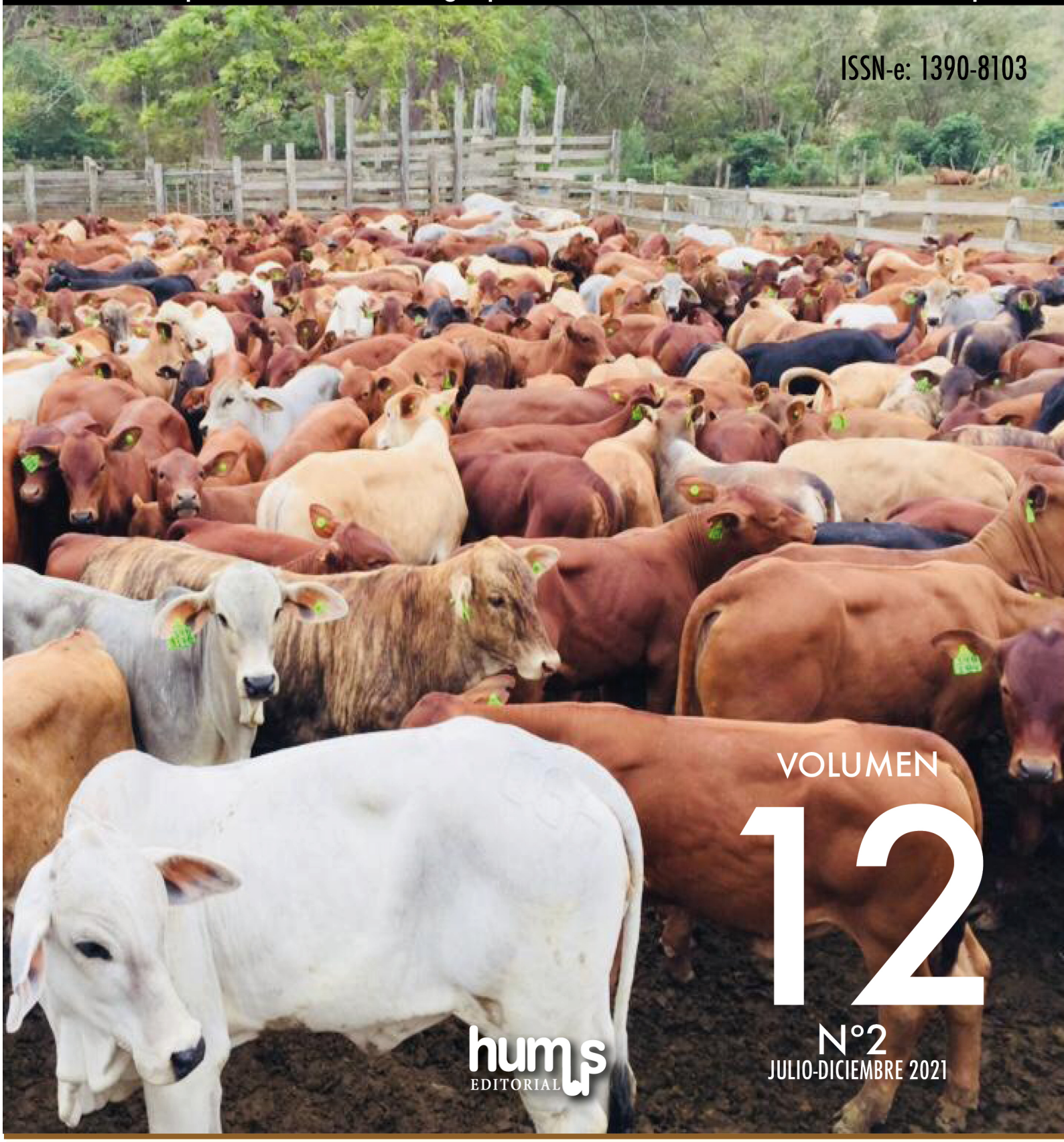
REVISTA

ESPAMCIENCIA

para el agro

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

ISSN-e: 1390-8103



VOLUMEN 12

N°2

JULIO-DICIEMBRE 2021

humus EDITORIAL

latindex BASE REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico DOAJ MIAR Matriz de Información para el Análisis de Revistas PERIÓDICA Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias OAJI.net Dialnet

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

"TRONCOS TRAMPA" PARA LA ATRACCIÓN DE ESCARABAJOS DE AMBROSÍA EN PLANTACIONES DE TECA

"BOLT TRAPS" FOR AMBROSIA BEETLES ATTRACTION IN TEAK PLANTATIONS

Bernardo Navarrete-Cedeño[1], Ernesto Cañarte-Bermudez[1], Danilo Vera-Coello[2], Antonio Pinargote-Borrero[1], Ricardo Limongi-Andrade[3]

[1]Departamento de Entomología. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Portoviejo: Km 12 vía Portoviejo-Santa Ana. Portoviejo-Manabí, Ecuador.
[2]Departamento de Fitopatología. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Tropical Pichilingue: Km 5 vía Quevedo-El Empalme. Mocache-Los Ríos, Ecuador.
[3]Programa de Forestería. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Portoviejo: Km 12 vía Portoviejo-Santa Ana. Portoviejo-Manabí, Ecuador.

E-mail:jose.navarrete@iniap.gob.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
21/06/2021

Aceptado:
15/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):1-9

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.267

Resumen

En la última década, la teca en Ecuador es afectada por una enfermedad conocida como "muerte regresiva" y posiblemente dispersada por escolitinos. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la condición ideal que garantice la mayor cantidad de atracción y recuperación de escarabajos de ambrosía, utilizando el método "troncos trampa", que son secciones de tronco de teca de 20 cm de longitud, expuestos a colonización de hembras de escolitinos. Para ello, en una plantación de teca del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, se estableció un experimento que determinó la condición ideal para atraer la mayor cantidad de escolitinos. Los troncos se ubicaron siguiendo un diseño de bloques completamente al azar con los siguientes tratamientos: altura de colocación de los troncos (1; 1,5 y 2 m); inmersión previa en alcohol 70% (Si y No) y descortezado (Si y No). En total fueron 36 troncos distribuidos en tres repeticiones. La única variable analizada fue el número de escarabajos recuperados por tronco a los 30 días después de su retiro del campo. Se realizó en paralelo dos réplicas biológicas, la primera retirando los troncos a los 15 días y la segunda a los 30 días. En los troncos retirados a los 15 días, el número mayor de capturas se obtuvo en troncos colocados a 1,5 m, con inmersión previa en alcohol y descortezados; mientras que los que permanecieron 30 días, solo la inmersión previa en alcohol influenció positivamente en las capturas. No existieron diferencias entre las poblaciones totales al comparar las dos fechas de permanencia en campo.

Palabras clave: Tectona grandis, Scolytinae, monitoreo, alcohol.

Abstract

In the last decade, teak in Ecuador have been affected by a disease known as "muerte regresiva" and possibly dispersed by scolytids, the standard practice for monitoring them is the use of plastic bottles filled with ethanol. Another methodology proposed in this research is the use of "bolt traps", which are sections of the tree trunk exposed to beetles colonization, for this reason, in a teak plantation of the National Institute for Agriculture Research, an experiment was designed to determine the ideal "bolt trap" condition that attracts the greatest number of borer insects. These bolts were deployed in a randomized complete block design with the following treatments; Height of placement (1 m, 1.5 m, 2 m), previous immersion in alcohol (Whit, Whitout) and debarking (Whit, Whitout). In total it were distributed 36 logs in three blocks. The only variable analyzed was the number of beetles recovered per bolt 30 days after their removal from the field. Two biological replicates were carried out in parallel, the first one removing the bolts at 15 days and the second one at 30 days. In bolts removed at 15 days, the highest number of captures was obtained in traps placed at 1.5, previously immersed in alcohol and debarked, while in those that remained 30 days, only immersion in alcohol positively influenced the captures. There were no differences between the total populations between the two dates of stay in the field.

Keywords: Tectona grandis, Scolytinae, monitoring, alcohol

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, bosques y plantaciones forestales como la teca (*Tectona grandis* L.f.), son afectados por escarabajos descortezadores y barrenadores de la madera; la mayoría de las especies de estos artrópodos pertenecen a las subfamilias Scolytinae y Platypodinae de la familia Curculionidae (Martínez *et al*., 2019) y se los conoce comúnmente como escolitinos o escarabajos de ambrosía. Aunque la actividad de estos coleópteros es necesaria en los sistemas no intervenidos por contribuir en la descomposición de árboles muertos y a la sucesión forestal (Morris *et al*., 2018), pueden convertirse en un problema si se hospedan en árboles sanos. El daño ocasionado puede ser directo ya que, ellos construyen galerías que afectan la calidad de la madera, o indirecto, por dispersión de enfermedades vasculares que, tienen serias consecuencias en el árbol hospedante (Deyrup y Atkinson, 1987; Benjamin *et al*., 2004). La producción de teca es importante para la economía ecuatoriana ya que su exportación genera ingreso de divisas (Vera *et al*., 2019). En el 2016, Ecuador aportó con el 7% de esta madera al mercado internacional (Aguirre y Piloso, 2017).

Las hembras de algunas especies de escarabajos de ambrosía colonizan troncos de árboles, realizando orificios en la corteza, por los cuales penetran al interior del floema y xilema, construyendo galerías donde crían sus larvas, utilizando como alimento, un hongo simbionte que transportan en estructuras especializadas llamadas micangias (Ploetz *et al*., 2013; Gómez, 2014; Kirkendall *et al*., 2015, Rivera *et al*., 2020). En la mayoría de casos, este hongo es inocuo para el árbol (Ploetz *et al*., 2013), pero hay casos en los cuales este organismo es patogénico (Hulcr y Stelinski, 2017), provocando enfermedades vasculares como el caso de la asociación *Xyleborus glabratus* - *Rafaella lauricola* en aguacate (Hamilton *et al*., 2021) y *Xylosandrus compactus* - *Fusarium solani* en café (Egonyu y Torto, 2018).

A partir del 2015, se empezó a evidenciar una inusual mortalidad de árboles de teca, caracterizada por un marchitamiento progresivo y descendente desde la parte apical de la planta, por lo que empezó a ser llamada por los productores como "muerte regresiva", el cual se ha venido incrementando exponencialmente con grave afectación en las plantaciones del Litoral ecuatoriano. En el año 2015, en muestreos de problemas fitosanitarios en plantaciones de teca, se encontraron los hongos *Fusarium* sp.; *Lasiodiplodia* sp. y *Ceratocystis* sp., además, de insectos barrenadores de la madera de los géneros *Xyleborus* spp., *Coptoborus* sp. e *Hypothenemus* sp. (Curculionidae: Scolytinae), en árboles con síntomas de la enfermedad "muerte regresiva" (Vera *et al*., 2019). Al respecto, el hongo *Fusarium solani* ha sido reportado causando "muerte regresiva" en China (Huang *et al*., 2017) e India; en este último país, se asocia su transmisión al escolitino *Xyleborus similis* (Balasundaran y Sankaran, 1991), por lo que es probable que en plantaciones de teca del Ecuador suceda un fenómeno parecido.

Para el estudio, monitoreo y manejo de escolitinos, es imprescindible un método apropiado de captura. Al respecto, el uso de trampas construidas con materiales caseros (botellas plásticas y alcohol en gel), es una metodología utilizada con éxito en estudios de identificación y distribución de estos insectos (Steininger *et al*., 2015). Sin embargo, este método no brinda una absoluta certeza acerca de los hospedantes de los individuos capturados en estas trampas. Los escolitinos y platipódidos, son atraídos por volátiles propios de una madera recientemente cortada, por lo que secciones de tronco o "troncos trampa" se convierten en lugares ideales para la colonización de las hembras fundatrices y la posterior concentración de poblaciones de estos barrenadores. En tales circunstancias, el objetivo de esta investigación fue evaluar la condición ideal que garantice la mayor cantidad de atracción y recuperación de escarabajos de ambrosía, utilizando el método de "troncos trampa".

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se realizó durante el periodo de abril a junio del 2019, en una plantación experimental de teca, de cuatro años de edad, establecida por el Programa de Forestería de la Estación Experimental Portoviejo en el lote Teodomira, localizado en la parroquia Lodana, cantón Santa Ana, provincia de Manabí, en las coordenadas 1°09"47,264" S y 80°23"17,689" W y a 56 m.s.n.m. de elevación (Figura 1) y condiciones ambientales con 851,57 mm de precipitación; 26,4°C y 81% de HR, suelo franco-arcilloso y topografía plana.

Figura 1. Vista aérea de plantación experimental de teca del Programa de Forestería de la Estación Experimental Portoviejo. 2021. Santa Ana, Manabí.

Procedimiento experimental

Para la captura de insectos barrenadores escolitinos se utilizaron "troncos trampas", que son secciones de troncos o ramas de árboles sanos obtenidos en una plantación libre de problemas fitosanitarios (Paes *et al*., 2012). Para obtenerlos, se seccionaron troncos de 20 cm de longitud y 8 a 12 cm de diámetro, utilizando una motosierra. Estos fueron colocados en árboles de teca, distribuidos en la plantación seleccionada, de acuerdo a los siguientes tratamientos: Factor A. Altura de ubicación de la trampa sobre el nivel del suelo (1; 1,5 y 2 m); Factor B. corteza (troncos con corteza y sin corteza) y Factor C. inmersión de troncos en alcohol etílico al 70% (con inmersión y sin inmersión), obteniendo 12 tratamientos, distribuidos en tres bloques, dando como resultado 36 unidades experimentales. El descortezamiento de los troncos que debían estar sin corteza se realizó con un machete. Para el proceso de inmersión de los troncos de madera en alcohol, se utilizó un recipiente plástico (30 cm x 15 cm), en el que se colocó un litro de alcohol al 70% (v/v) y en el interior se mantuvo a los troncos en inmersión por un minuto, para luego llevarlos a campo. Los troncos fueron sujetados a la altura respectiva, utilizando un alambre grueso, que permitió mantenerlos separados al menos 20 cm del tronco principal (Figura 2).

Figura 2. Preparación de troncos trampas: A. corte de troncos de 20 cm; B. inmersión de troncos en alcohol 70%; C. Troncos trampa listos para ser ubicados en la plantación; D. Tronco trampa colocado en árbol de teca, sujetado con alambre y separado a 20 cm del tronco principal. Se evidencia perforaciones en tronco trampa. Santa Ana, Manabí.

Para determinar el efecto de la permanencia de los troncos en el campo, se realizaron dos réplicas biológicas del experimento, siguiendo la metodología anteriormente descrita. Los troncos fueron retirados del campo de acuerdo a la réplica biológica; la primera a los 15 y la segunda a los 30 días posteriores a su ubicación en campo. Inmediatamente, se trasladaron hasta el Laboratorio de Entomología de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, donde fueron ubicados individualmente en cámaras de recuperación, que son recipientes de plástico negro (50 cm x 20 cm), con un frasco en la parte superior para recuperar los adultos que emergían diariamente. Bajo estas condiciones permanecieron por 30 días. La diversidad de adultos emergidos fue observada en un estereoscopio para clasificarlos taxonómicamente hasta nivel de familia, usando claves taxonómicas (Baker *et al*., 2009) y a partir de aquí, basándose en esquemas y caracteres morfológicos, se separó a los especímenes en morfoespecies **(**Figura 3).

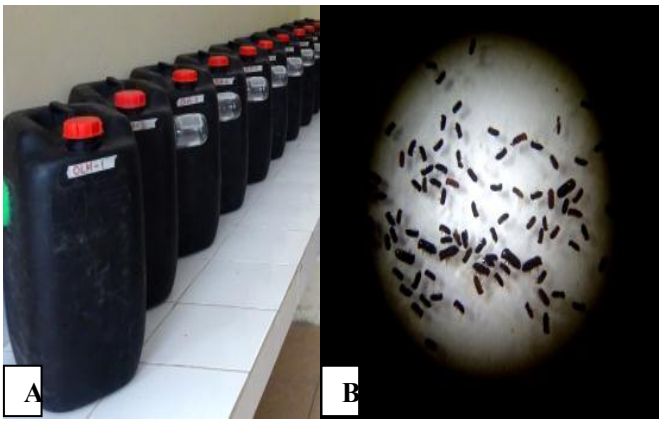


Figura 3. Proceso de recuperación en laboratorio de adultos de coleópteros barrenadores presentes en "troncos trampa" A. Cámaras de recuperación de Scolytinae. B. Diversidad de morfoespecies de Scolytinae recuperados a ser clasificados bajo el estereomicroscopio. Portoviejo, Manabí.

Análisis estadístico

La única variable analizada fue el número de adultos de coleópteros barrenadores recuperado por "troncos trampa". Previo a su análisis, los datos se sometieron a las pruebas de normalidad de Shapiro y de homogeneidad de varianzas de Bartlett. Por no cumplir con los supuestos del análisis de varianza, se transformaron a $\sqrt{x+1}$ para analizarlos en un Diseño de Bloques Completamente al Azar en Arreglo Factorial (AxBxC). Para comparar los resultados de las dos réplicas biológicas se empleó la prueba de *T* no pareada. Todos los análisis y figuras se realizaron con el software estadístico R Studio (R Studio Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del total de troncos evaluados en este experimento, se recuperaron un total de 827 individuos de escarabajos barrenadores de la familia Curculionidae, subfamilia Scolytinae, agrupados en cinco morfoespecies (Figura 4). Estos resultados son coincidentes con estudios que reportan varias especies de las subtribus de Scolytinae como Corthylini, Scolytini, Xyleborini, y Premnobiini, asociadas a plantaciones de teca en el Ecuador (Martínez *et al*., 2017, Muñoz *et al*., 2020, Solano *et al*., 2020); es importante aclarar que, todos los insectos reportados en estos estudios anteriores, han sido capturados utilizando trampas con etanol, mientras que Flores *et al*. (2010) lo realizaron por observación directa en el campo y Vera *et al*. (2019) recuperaron insectos de madera infestada con coleópteros barrenadores.

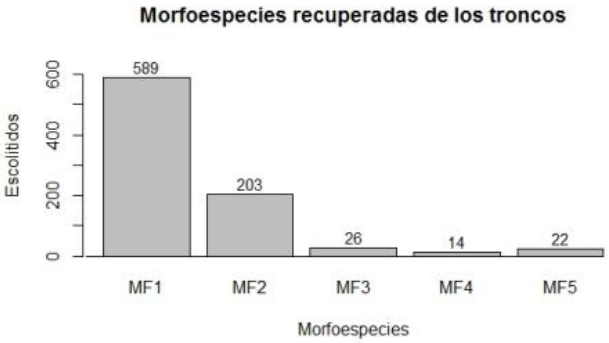


Figura 4. Distribución de morfoespecies recuperadas de troncos trampa en una plantación de teca. Santa Ana, Manabí.

En la réplica biológica, donde se retiraron los troncos a los 15 días (Figura 5), se observó diferencias significativas para el factor altura de planta ($F_{1,\ 22}$ =7,79; P=0,02), presentando los troncos ubicados a 1,5 m, más insectos que los ubicados a 1 m. Esto es similar a lo reportado por Procházka *et al.* (2018), quienes obtuvieron mayor cantidad de escolitinos en trampas colocadas a 1,2 m sobre el nivel del suelo, en árboles en Europa del Este, así como también, en el estudio de Covre *et al*. (2021), quienes determinaron que, la altura de vuelo más frecuente del escarabajo ambrosia *Xylosandrus crassiusculus* es a 1,5 m en Brasil. Es importante considerar que existe una distribución vertical de las poblaciones de escolitinos en los árboles afectados. Los que ingresan hasta el xilema (escarabajos de ambrosía), se ubican preferentemente en los estratos más bajos mientras que los descortezadores son registrados en el estrato superior del árbol (Sheehan *et al*., 2019). De igual manera, hubo una cantidad significativamente mayor de escolitinos en troncos tratados con alcohol ($F_{1,\ 22}$ =17,597; P=0,01), y en troncos sin corteza ($F_{1,\ 22}$= 27,47; P=0.01). Estos resultados se explican, debido a que, los adultos de escolitinos, responden favorablemente a la presencia de alcohol y a las heridas provocadas en los árboles (Montgomery y Wargo, 1983; Hanula *et al*., 2008; Reding y Ranger, 2019). En el caso del alcohol, recientes investigaciones han establecido que, esta preferencia se da porque los hongos simbiontes que, sirven de alimento a los escarabajos ambrosiales necesitan de esa sustancia para desarrollarse adecuadamente (Ranger *et al*., 2018). Por otro lado, al descortezar los troncos, se produce una liberación de volátiles alcohólicos y terpenoides que atraen a los escolitinos (Cruz-López *et al*., 2016). También se ha comprobado que el grosor de la corteza es un elemento que influye en el grado de infestación de escarabajos barrenadores, siendo las cortezas más delgadas, aquellas más susceptibles a la infestación (Boland y Woodward, 2021).

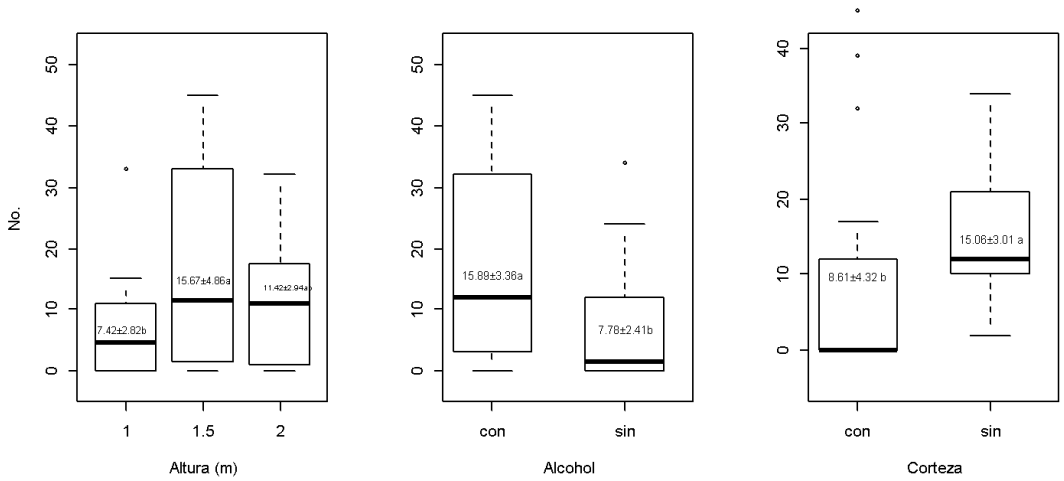


Figura 5. Efecto de los tratamientos en la recuperación de escolitinos en troncos trampas, retirados a los 15 días después de su colocación en una plantación de teca. Santa Ana, Manabí.

En esta réplica hubo interacciones entre los factores presencia de alcohol y de corteza $F_{1, 22}$= 12,42; P=0,01 (Figura 6). Los troncos sin corteza tuvieron poblaciones similares de escolitinos, usando o no alcohol; sin embargo, en los troncos con corteza, se obtuvo significativamente más insectos en troncos previamente sumergidos en alcohol, siendo muy baja la cantidad de escarabajos emergidos de troncos con corteza y sin alcohol. Esto se explicaría por qué tanto la presencia de alcohol como el descortezamiento tienen el mismo mecanismo de atracción, por lo que, cualquiera de las dos estrategias resulta en una fuerte capacidad de atraer escarabajos ambrosiales en teca; en contraste con el tratamiento sin alcohol y con corteza, donde ese efecto es inexistente por lo que, tuvo el menor valor de individuos capturados en los troncos trampa.

También hubo interacción entre altura de planta y la presencia de corteza $F_{2, 22}$= 5,76; P=0,01 (Figura 6). En este caso, se obtuvo la mayor captura utilizando troncos trampa con corteza y colocados a una altura de 1,5 m, del suelo; no obstante, en las otras alturas 1 y 2 m, los troncos sin corteza superaron significativamente a los descortezados. Esto podría explicarse por la alta población registrada a 1,5 m, que posiblemente influyó para la emisión de una mayor concentración de feromonas de agregación como el quercivorol (Byers *et al.,* 2021), elemento que pudo haber provocado que los escarabajos barrenadores se agreguen e ingresen de manera masiva en los troncos trampa con y sin corteza.

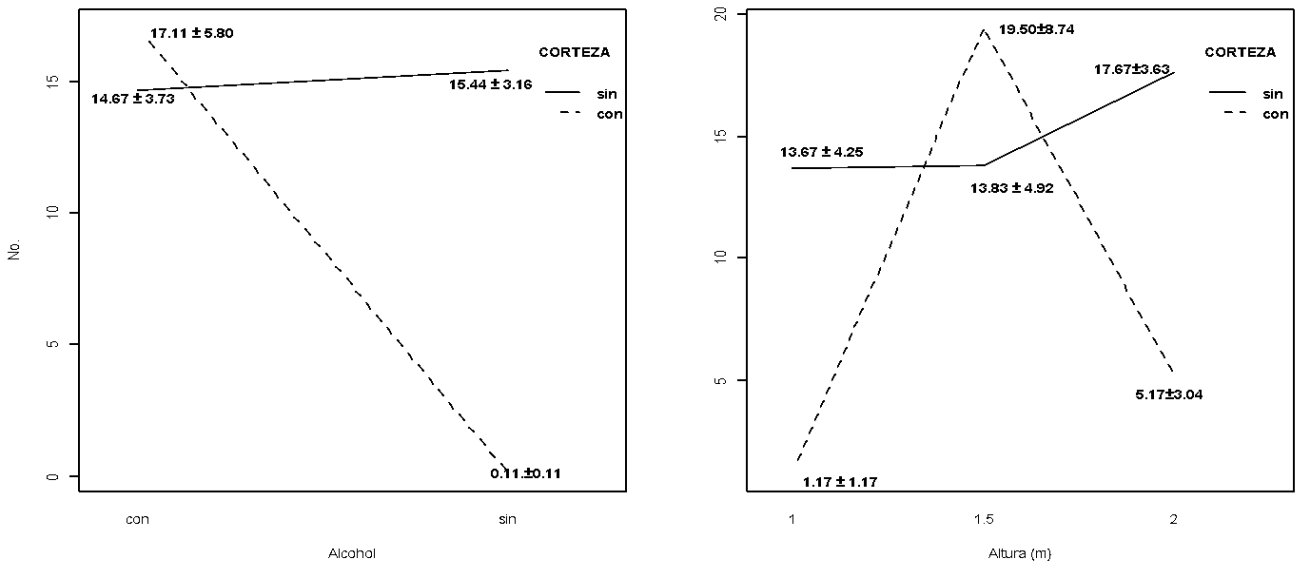


Figura 6. Interacciones Alcohol - Corteza y Corteza-Altura en troncos trampa retirados a los 15 días. Santa Ana, Manabí.

En la segunda réplica biológica con los troncos retirados a los 30 días (Figura 7), no se observó diferencias significativas para el factor altura de planta ($F_{2, 22}$= 1,17; P= 0,33), ni para el factor presencia de corteza ($F_{1, 22}$= 0,01; P= 0,93), pero si para el factor inmersión en alcohol, existiendo mayor captura de escolítidos en troncos previamente sumergidos en alcohol ($F_{1, 22}$= 5,34; P=0,03). Este resultado sugiere que, el efecto atrayente del alcohol persiste en los troncos más allá de los 15 días de su aplicación, resultado que ubicaría a este factor como el más determinante al momento de asegurar una mayor captura de escarabajos barrenadores en los troncos trampa tratados; lo que, concuerda con los resultados de Cavaletto *et al*. (2021), quienes demostraron la fuerte atracción que ejerció el etanol en troncos trampas en ocho especies forestales, sobre varias especies de escarabajos ambrosiales en el noroeste italiano.

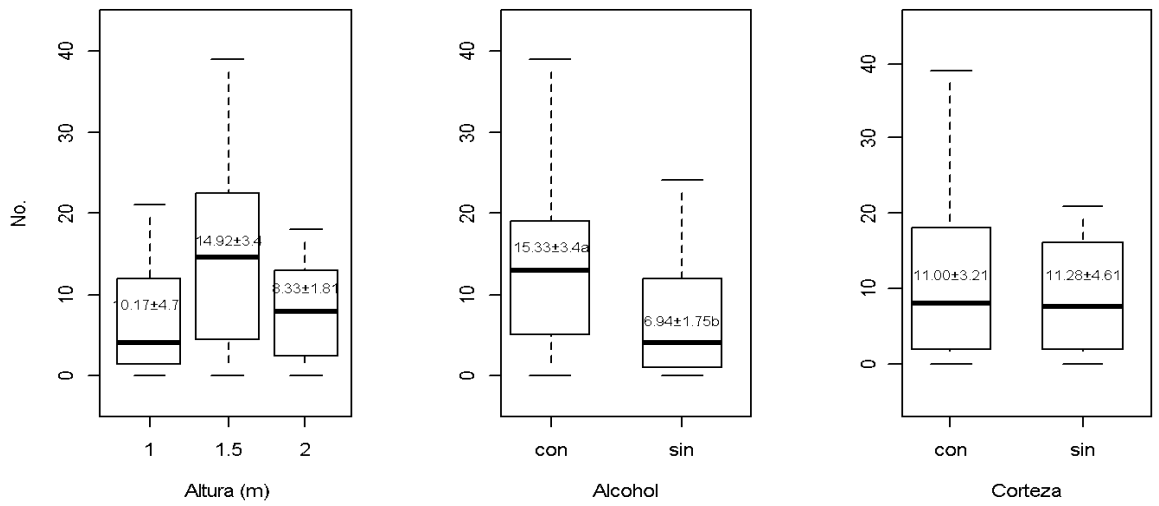


Figura 7. Efecto de los tratamientos en la recuperación de escolitinos en los "troncos trampas", retirados a los 30 días después de su colocación en una plantación de teca. Santa Ana, Manabí

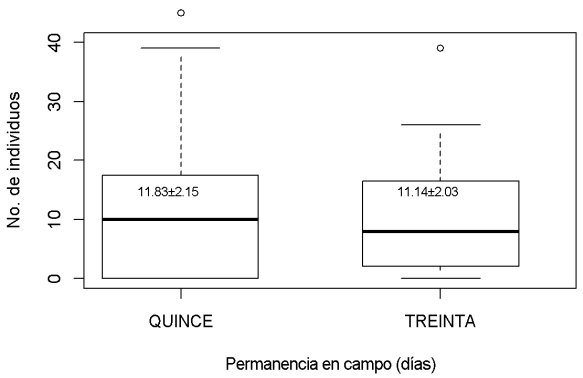


Figura 8. Efecto de la permanencia en campo de "troncos trampa" sobre poblaciones de escolítidos en una plantación de teca. Santa Ana, Manabí.

En esta investigación se ha demostrado la factibilidad de utilizar "troncos trampa" como una herramienta eficiente de monitoreo de escarabajos barrenadores en teca; lo cual, es coincidente con los resultados reportados por Paes *et al*. (2012), también en teca *T. grandis*. Así mismo, otros investigadores citan la eficacia de esta técnica, utilizada para la atracción y recuperación de escolitinos en *Theobroma cacao* (Ventocilla, 1965); *Prunus dulcis* (Benazoun, 2004); *Juglans hindsii* (Dallara *et al*., 2012); *Pistacia vera* (Hadj *et al*., 2020) y *Ostrya carpinifolia* (Cavaletto *et al*., 2021); siendo la ventaja principal de esta metodología, el hecho que, asegura la identificación del hospedante colonizado por los escarabajos, situación no conseguida con el uso de trampas de etanol. Además, su elaboración no demanda mayores gastos para el productor, al poder usar troncos o ramas de árboles de su propia plantación. El uso de "troncos trampa" impregnados en alcohol, se ha usado como una herramienta de monitoreo, pero puede también utilizarse como una estrategia directa de control (Giménez ,2009; Wells, 2015; Gugliuzzo *et al*. 2021).

CONCLUSIONES

"Troncos trampa" de 20 cm de longitud, colocados a una altura de 1,5 m del suelo, sin corteza y mantenidos previamente en inmersión en alcohol por un minuto, garantizaron las mayores capturas de escarabajos ambrosiales en teca. El uso de "troncos trampa" es una herramienta útil de monitoreo para escolitinos. Debido a su eficacia de captura, se considera su utilización incluso como una herramienta de control de especies de Scolytinae, dispersoras de enfermedades vasculares en plantaciones de teca.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECID) por el financiamiento de la investigación, a través del proyecto 2017/SPE/00004000109 "Etiología de la principal enfermedad de teca en Ecuador y rol de insectos en su dispersión".

LITERATURA CITADA

Aguirre, T. y Piloso, J. 2017. Análisis de la comercialización internacional de teca producida en ecuador, con propuesta de creación de una asociación de productores. Tesis de Ingeniero Comercial. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, EC. 118 p. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec

Baker, J., LaBonte,J., Atkinson T. y Bambara, S. 2009. An Identification Tool For Bark Beetles of the

Southeastern United States. Lucid® v. 3.4.1. North Carolina State University, Raleigh, NC. 27695. Disponible en: https://keys.lucidcentral.org

Balasundaran, M., Sankaran, K, 1991. *Fusarium solani* associated with stem canker and die-back of teak in southern India. Indian Forester. 117(2):147-149.

Benazoun, A. 2004. Répartition des attaques de *Ruguloscolytus amygdali* Guerin (Coleoptera Scolytidae) sur amandier dans la région de Tafraout, Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires. 24(1): 35–44

Benjamin, R., Blackwell, M., Chapela, I., Humber, A., Jones, G., Klepzig KD, Lichtwardt, R., Malloch, D., Noda, H., Roper, R., Spatafora, J., Weir, A. 2004 Insect- and other arthropod-associated fungi. In: Mueller GM, Bills GF, Foster MS (eds) Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods. Elsevier Academic Press, San Diego, pp 395–434

Boland, J., Woodward, D. 2021.Thick bark can protect trees from a severe ambrosia beetle attack. PeerJ, 9, e10755. DOI:https://doi.org/10.7717/peerj.10755

Byers, J.A., Maoz, Y., Cohen, B. Fefer, D.,Levi, A. 2021. Protecting avocado trees from ambrosia beetles by repellents and mass trapping (push–pull): experiments and simulations. Journal of Pest Science. 94: 991–1002 DOI:https://doi.org/10.1007/s10340-020-01310-x

Cavaletto, G., Faccoli, M., Ranger, C., Rassati, D. 2021. Ambrosia beetle response to ethanol concentration and host tree species. Journal of Applied Entomology. 00: 1– 10. DOI: https://doi.org/10.1111/jen.12895

Covre, S., Melo, A., Flechtmann, H. 2021. Flight activity and spread of *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) in Brazil. Trees, Forests and People. 4:100076. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100076

Cruz-López, L., Díaz-Díaz, B., Rojas, J. 2016. Coffee volatiles induced after mechanical injury and beetle herbivory attract the coffee berry borer and two of its parasitoids. Arthropod-Plant Interactions. 10(2): 151-159. DOI:http://dx.doi.org/10.1007/s11829-016-9417-0

Dallara, P. L., Flint, M. L., & Seybold, S. J. 2012. An analysis of the larval instars of the walnut twig beetle, *Pityophthorus juglandis* Blackman (Coleoptera: Scolytidae), in northern California black walnut, *Juglans hindsii*, and a new host record for *Hylocurus hirtellus*. The Pan-Pacific Entomologist. 88(2): 248–266. DOI: https://doi.org/10.3956/2012-16.1

Deyrup, M., Atkinson, T. 1987. Comparative Biology of Temperate and Subtropical Bark and Ambrosia Beetles (Coleoptera: Scolytidae, Platypodidae) in Indiana. The Great Lakes Entomologist. 20 (2):1-7.

Egonyu, P., Torto, B. 2018. Responses of the ambrosia beetle *Xylosandrus compactus* (Coleoptera: Curculionidea: Scolytinae) to volatile constituents of its symbiotic fungus *Fusarium solani* (Hypocreales: Nectriaceae). Arthropod-Plant Interactions. 12: 9–20. DOI: https://doi.org/10.1007/s11829-017-9552-2

Flores-Velasteguí, T., Crespo-Gutierrez, M. y Cabezas-Guerrero, F. 2010. Plagas y enfermedades en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f) en la zona de Balzar, Provincia del Guayas. Ciencia y Tecnología. 3(1): 15-22.

Giménez, R. 2009. *Megaplatypus mutatus*, bases para su manejo integrado. Serie técnica. Manejo Integrado de Plagas Forestales. Cuadernillo 5. EEA Bariloche. Laboratorio de Ecología de Insectos. San Carlos de Bariloche. Argentina. 14 p.

Gómez, D. 2014. Escarabajos de Ambrosía. Reconocimiento a campo de plagas y enfermedades forestales. Cartilla No.24. INIA-Uruguay. 2 p. Disponible en http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3376/1/Cartilla-24-Forestacion-2014.pdf

Gugliuzzo, A., Biedermann, W., Carrillo, D., Castrillo, A., Egonyu, J., Gallego, D., Haddi, K., Hulcr, J., Jactel, H., Kajimura, H., Kamata, N., Meurisse, N., Li, Y., Oliver, J. Ranger, C., Rassati, D., Stelinski, L., Sutherland, R., Tropea Garzia, G., Wright, M,. Biondi, A. 2021. Recent advances toward the sustainable management of invasive *Xylosandrus ambrosia* beetles. Journal of Pest Science. 94(3): 615–637. DOI:https://doi.org/10.1007/s10340-021-01382-3

Hadj T, K., Gharsallah, H., Ksentini, I., Leclerque, A., Schuster, C., Cheffi, M., Naayma, S., Triki, M., Ksantini, M. 2020. Screening of biological activities of fungi associated with pistachio bark beetle, *Chaetoptelius vestitus* (Coleoptera, Curculionidae), infesting pistachio cultivations in Tunisia. Journal of Applied Microbiology. 128(5): 1472–1485. DOI: https://doi.org/10.1111/jam.14572

Hamilton, J., Fraedrich, S., Nairn, C., Mayfield, Albert., Villari, C. 2021. A field-portable diagnostic approach confirms Laurel Wilt Disease diagnosis in minutes

instead of days. Arboriculture & Urban Forestry. 47(3): 98-109. DOI:https://doi.org/10.48044/jauf.2021.010.

Hanula, J., Mayfield A., Fraedrich, S., Rabaglia, R. 2008. Biology and host associations of redbay ambrosia beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), exotic vector of laurel wilt killing redbay trees in the southeastern United States. Journal of Economical Entomology. 101(4):1276-86. DOI: 10.1603/0022-0493(2008)101[1276:BAHAOR]2.0.CO;2.

Huang, S., Li, Z., Wei, J., Mo, J. Y., Li, Q., Guo, T., Luo, J., Yang, X., Tan, X.., Yang, X. 2017. First report of stem canker caused by *Fusarium solani* on *Tectona grandis* in China. Plant Disease. 101(12), 2148–2148. https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0514-PDN.

Hulcr, J., Stelinski, L. 2017. The ambrosia symbiosis: From evolutionary ecology to practical management. Annual Review of Entomology. 62: 285-303.

Kirkendall, L., Biedermann, P., Jordal, B. 2015. Evolution and diversity of bark and Ambrosia beetles. In F. E. Vega, & R. W. Hofstetter (Eds.), Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species (pp. 85-156). San Diego: Elsevier.

Martínez, M., Castro, J., Villamar-Torres, R., Carranza, M., Muñoz-Rengifo, J., Jiménez, E., Guachambala, M., Heredia-Pinos, M., García-Cruzatty, L., Mehdi-Jazayeri, S. 2017. Evaluation of the diversity of Scolitids (Coleoptera: Curculionidae) in the forest plantations of the central zone of the Ecuadorian littoral. Ciencia y Tecnología. 10(2): 25–32. DOI: https://doi.org/10.18779/cyt.v10i2.163

Martínez, M., Cognato, A., Guachambala, M., Boivin, T. 2019. Bark and Ambrosia Beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Diversity in Natural and Plantation Forests in Ecuador. Environmental Entomology. 48(3): 603–613. DOI:https://doi.org/10.1093/ee/nvz037

Montgomery, M., Wargo, M. 1983. Ethanol and other host-derived volatiles as attractants to beetles that bore into hardwoods. Journal of Chemical Ecology. 9: 181–190. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00988035

Morris, J., Cottrell, S., Fettig, C. J., DeRose, R., Mattor, K., Carter, V. A., Clear, J., Clement, J., Hansen, W., Hicke, J., Higuera, P., Seddon, A., Seppä, H., Sherriff, L., Stednick, J., Seybold, S. 2018. Bark beetles as agents of change in social-ecological systems. Frontiers in Ecology and the Environment. 16(S1), S34–S43. DOI:https://doi.org/10.1002/fee.1754

Muñoz, X., Cañarte, E., Navarrete, B. y Vera, D. 2020. Escarabajos presentes en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.f.) afectadas con "muerte regresiva" en el litoral ecuatoriano. [Resumen]. Ponencia presentada en Tercera Convención Internacional de la Universidad Técnica de Manabí 2019 Portoviejo, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí: 278.

Paes, J., Santos, L., Loiola, P., Santos, G., Capelini, W. 2012. Ataque de Coleopteros na madeira de teca (*Tectona grandis* L.f) en plantas localizadas na sul do Espiritu Santo. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. 20 (1):1-9.

Ploetz, R., Hulcr, J.,Wingfield, M., de Beer, Z. 2013. Destructive tree diseases associated with Ambrosia and Bark Beetles. Black swan events in the tree pathology?. Plant Disease. 95(7): 856-872.DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-01-13-0056-FE

Procházka, J., Cizek, L.,Schlaghamerský, J. 2018, Vertical stratification of scolytine beetles in temperate forests. Insect Conserv Divers. 11: 534-544. DOI:https://doi.org/10.1111/icad.12301

Ranger, C. Biedermann, P., Phuntumart, V., Beligala, G., Ghosh, S., Palmquist D., Mueller, R., Barnett, J., Schultz, PB., Reding, M. Benz, J. 2018. Symbiont selection via alcohol benefits fungus farming by ambrosia beetles. Proceedings of National Academy of Science.115(17):4447-4452. DOI: 10.1073/pnas.1716852115.

Reding, M., Ranger, C. 2019. Attraction of Invasive Ambrosia Beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) to Ethanol-Treated Tree Bolts. Journal of Economic Entomology. Published. DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toz282

Rivera, M., Martini, X., Conover, D., Mafra-Neto, A., Carrillo, D., Stelinski, L. 2020. Evaluation of semiochemical based push-pull strategy for population suppression of ambrosia beetle vectors of laurel wilt disease in avocado. Scientific Reports. 10(1). DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-59569-0

RStudio Team 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MS. Disponible en http://www.rstudio.com/.

Sheehan, T., Ulyshen, M., Horn, S., Hoebeke, E. 2019. Vertical and horizontal distribution of bark and woodboring beetles by feeding guild: is there an optimal trap location for detection?. Journal of Pest

Science. 92(1): 327-341.DOI: https://doi.org/10.1007/s10340-018-1026-5

Solano, E., Belezaca, C., López Tobar., Macías, K. 2020. Diversidad de escolítidos en trampas en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (Teca) en la costa ecuatoriana. Centrosur, 1(7), 47–55. DOI: https://doi.org/10.37959/cs.v1i7.36

Steininger, M., Hulcr, J, Šigut, M., Lucky A. 2015. Simple and efficient trap for bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae) to facilitate invasive species monitoring and citizen involvement. Journal of Economic Entomology. 108:1115–23.

Ventocilla, J. 1965. La influencia de la temperatura y la precipitación en la actividad de *Xyleborus ferrugineus* (Fabricius). Tesis de maestría. IICA, Turrialba (Costa Rica). 68 p.

Vera, D., Cañarte, E., Navarrete, B., Solís K., Muñoz , X., Cevallos, V., y Borja, E. 2019. Muestreo de enfermedades vasculares e insectos barrenadores asociados a teca (*Tectona grandis* L.f.) y alternativas para su manejo. Mocache, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Manual Técnico no. 109). 130 p.

Wells, L. 2015. Managing Ambrosia Beetles | UGA Pecan Extension. University of Georgia. Disponible en https://site.extension.uga.edu

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

PRODUCCIÓN DE METANO EN REACTORES MONOFÁSICO Y BIFÁSICO UTILIZANDO AGUA MODELADA DE CAFÉ SOLUBLE

METHANE PRODUCTION IN SINGLE PHASE AND BIPHASE REACTORS USING MODELED SOLUBLE COFFEE WATER

Mabel Leonela Laz Mero[1 2], Miguel Alejandro Tuárez Párraga[1 3], Dennys Lenin Zambrano Velásquez[1], Rosa Alexandra Córdova Mosquera[2]

[1]Posgrado Agroindustria. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manabí. Sitio El limón, Calceta, Manabí – Ecuador
[2]Universidad Técnica de Manabí, Av. Urbina y Ché Guevara. Portoviejo, Manabí – Ecuador
[3]La Fabril S.A. Ubicación: Montecristi, Km 5 ½ vía Manta, Manabí - Ecuador

Email: mabel_laz@hotmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
18/02/2021

Aceptado:
15/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):84-94

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.243

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue establecer la producción de metano en reactores con Sistema Monofásico (SM) y Sistema Bifásico (SB) utilizando como sustrato agua modelada de la industria de café soluble, con una demanda química de oxígeno (DQO) de 7,5 g/L, considerado como un residuo con alta carga orgánica. Las pruebas de laboratorio se realizaron en reactores provistos con filtro anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA), evaluando parámetros de: pH, relación entre ácidos grasos volátiles y alcalinidad (FOSTAC), remoción DQO, concentración y rendimiento de metano, aplicando métodos normalizados para el análisis de aguas residuales descrita por APHA y WPCF, 2012. En la variable rendimiento el SM mostró valores promedios de 0,15 dm^3 CH_4/gDQO en comparación a los exhibidos por el SB con valores promedios de 0,26 dm^3 CH_4/g DQO, los rangos de operación del SB fueron: pH (6,38-8,0), FOSTAC (0,42-0,60), AGV(160-423 mg/l), remoción DQO (61-85%); donde se comprobó estadísticamente que las producciones de metano en los sistemas evaluados difieren significativamente ($p<0,05$), evidenciando que en el SB se incrementó los valores promedios de producción de metano del 70% en relación al SM.

Palabras clave: Agua modelada, sistemas de reactores, rendimiento de metano

Abstract

The objective of this research was to establish the production of methane in reactors with a Single-Phase System (SM) and a Two-Phase System (SB) using modeled water from the soluble coffee industry as a substrate, with a chemical oxygen demand (COD) of 7, 5 g/L, considered as a residue with a high organic load. The laboratory tests were carried out in reactors equipped with an up flow anaerobic filter (FAFA), evaluating parameters of: pH, relationship between volatile fatty acids and alkalinity (FOSTAC), COD removal, concentration and methane performance, applying standardized methods for the wastewater analysis described by APHA and WPCF, 2012. In the performance variable, the SM showed average values of 0.15 dm^3 CH_4 / gDQO compared to those exhibited by the SB with average values of 0.26 dm^3 CH_4/g COD, the SB operating ranges were: pH (6.38-8.0), FOSTAC (0.42-0.60), AGV (160-423 mg / l), COD removal (61-85%); where it was statistically verified that methane productions in the evaluated systems differ significantly ($p <0.05$), showing that in the BS the average methane production values increased by 70% in relation to the SM.

Keywords: Modeled water, reactor systems, methane performance.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la bebida de café es un paradigma a nivel mundial, incrementando su consumo en países desarrollados (Murthy y Naidu, 2012); hasta el 50% de su producción desde los años 1990 hasta el 2015. Por tal motivo, países como Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia y Etiopia lideran la producción mundial de este fruto, llegando a cosechar hasta 2 594 100 kilogramos en el año 2015 en Brasil (Lazcano, 2015).

Yánez (2018) manifiesta que la superficie del Ecuador para el cultivo de café abarca aproximadamente el 30% de su territorio nacional, siendo así que, Ecuador es el cuarto exportador sudamericano más grande de café soluble a Rusia (El Telégrafo, 2017).

Por consiguiente, el café es el segundo producto más vendido en el mundo después del petróleo, por lo cual se genera gran cantidad de desperdicios durante su producción, a esto se suma que existe un tercio de la producción mundial de alimentos que se desperdician (Restrepo *et al.,* 2011), constituyendo una fuente de contaminación hacia las reservas de agua, lo que representa el 9,6% de las emisiones mundiales de CO2 (Fisgativa *et al*., 2017).

Producto de aquello, la industria cafetera utiliza grandes cantidades de agua durante su procesamiento, estimando de 40 a 45 L de vertido residual por kilogramo de café procesado (Blinová *et al*., 2017). Los efluentes contienen alta carga orgánica, obteniendo desechos o subproductos definidos mundialmente como un problema debido a la falta de conocimientos sobre su adecuado tratamiento (Vargas y Pérez, 2018); (Saval, 2012).

Por estas razones, durante los últimos años ha existido un creciente interés en el desarrollo y/o la optimización de tecnologías para el aprovechamiento de los residuos con alta carga orgánica generados por las empresas agroindustriales procesadoras de café, en países industrializados como Brasil y en vías de desarrollo como Colombia.

Inclusive, se oferta una alternativa tecnológica atractiva como la DA, en la cual se obtiene producto como el metano con capacidad energética y lodos con propiedades fertilizantes (Mussatto *et al.,* 2011). Podemos recalcar lo mencionado por Ramírez (2012); Peñaranda *et al.,* (2017) quienes afirman que el aprovechamiento de estos residuos es una alternativa que impulsa el desarrollo de tecnologías, orientadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales (Rosas *et al.,* 2016).

Por tal motivo, la digestión anaerobia ofrece una oportunidad viable de aprovechamiento de estos residuos orgánicos mediante un proceso de degradación bioquímica en ausencia de oxígeno (González *et al*., 2015). Según FAO (2013) y González (2009) argumentan que la bioenergía se obtiene a base de desechos orgánicos agroindustriales; siendo esta, una manera de aprovecharlos mediante procesos biotecnológicos (Chen *et al.,* 2008); proponiendo de esta manera aportes y pertinencias al sector agroindustrial.

El presente estudio tiene como objetivo establecer la producción de metano en reactores con Sistema Monofásico (SM) y Sistema Bifásico (SB) para posteriormente compararlos entre sí; por consiguiente, se realizaron los respectivos análisis de pH, FOSTAC, AGV, remoción DQO, rendimiento y concentración de metano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Operaciones Unitarias y en el Laboratorio de Análisis Químico y Biotecnológico de la Universidad Técnica de Manabí. Para la aplicación de la metodología utilizada en la investigación se tomó como punto de partida: la modelación y caracterización del agua residual de la industria de café instantáneo, preparación del inóculo, las operaciones de carga, arranque de los reactores, métodos analíticos y análisis estadístico con pruebas paramétricas (ADEVA) y no paramétricas (U de Mann-Whitney), mediante el programa estadístico SPSS.

Agua residual modelada

Se modeló agua residual de la industria de café soluble con características similares a la industria. Cabe mencionar que el agua residual se recolectó de una de las industrias de café instantáneo del país, ubicada en la provincia de Manabí. El sustrato inicialmente es una solución concentrada, mediante la adición de 20 g de café tostado y molido (Fernández y Foster 1993), en 1 L de agua destilada sometida a calentamiento hasta ebullición, posteriormente se filtra la solución mediante gasa fina.

Se definió el volumen de agua destilada de acuerdo a la ecuación 1 propuesta por Morales y Vera (2018), para modelar el efecto de dilución en la muestra concentrada a partir de un balance de materia y fijar la carga orgánica expresada como DQO en 7500 mg/L.

$$V_{H2O} = \frac{V_O - DQO_O}{DQO_F} - V_O \quad \textbf{[1]}$$

Donde:
V_{H2O}: Volumen de agua añadida, ml
V_o: Volumen de agua concentrada, ml
DQO_o: Demanda química de oxígeno inicial, mg/L
DQO_F: Demanda química de oxígeno final, mg/L

Preparación del inóculo

El inóculo se recolectó de un reactor anaerobio del tratamiento de residuos de la industria atunera, se almacenó en un envase de 20 L herméticamente sellado y transportado a las instalaciones del laboratorio. Se realizó proceso de desgasificación para evitar el ingreso de oxígeno al sistema durante 30 días, se aclimató alimentando semanalmente con solución de agua residual modelada con una concentración del 25% (p/v) en sacarosa.

Para su caracterización se tomó una muestra representativa para realizar sólidos suspendido volátiles (SSV); según la norma alemana VDI 4630 (2006) la cual indica que la cantidad de sólidos volátiles debe ser ≥50% para ser inoculado en los reactores, caso contrario se continúa alimentando hasta alcanzar dicho valor.

Descripción de reactores

Los reactores de los SM y SB son de tipo FAFA, está construido de acero inoxidable de 2 mm de espesor. Poseen una altura de 35 cm y un diámetro de 14 cm, a su vez está recubierto de un cilindro de 23 cm de diámetro y 24,5 cm de alto; este último actúa como un sistema de calentamiento mediante una resistencia; como medio de empaque se utilizó tubería corrugada PVC de 2,5 cm de alto, 15 mm de diámetro exterior, 11 mm de diámetro interior y 0,55 g de peso. El volumen de reacción calculado fue de 3,956 L.
En el SM se desarrolló las cuatro fases del proceso de DA simultáneamente en un único reactor (Hid, Aci, Ace y Met), como se muestra en la figura 1.

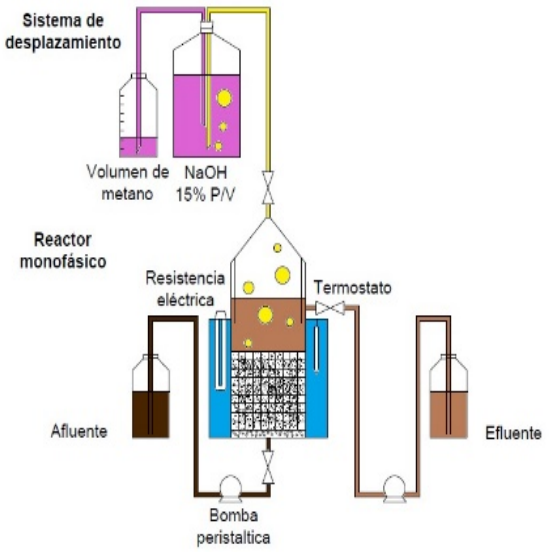


Figura 1. Reactor sistema monofásico

Mientras que en el SB se separan las fases de la siguiente manera: proceso en el primer reactor (Hid-Aci), proceso en el segundo reactor (Ace-Met), como se muestra en la figura 2.

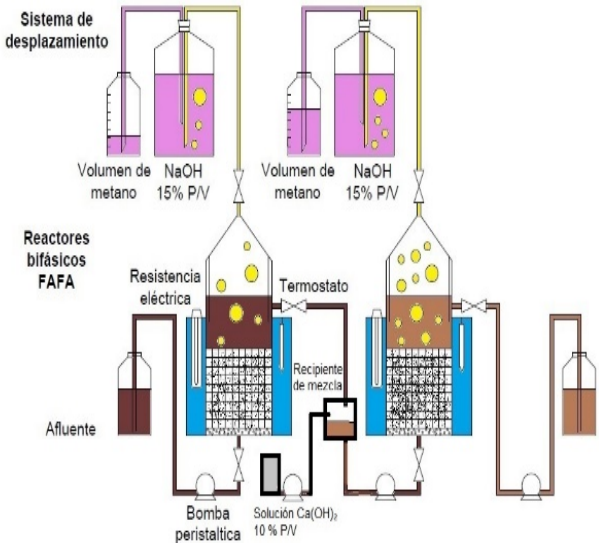


Figura 2. Reactores sistemas bifásicos

Arranque del SM

Para el arranque del reactor se formuló una mezcla del 40% inóculo y 60% agua modelada en relación al volumen de reacción, sellando herméticamente el reactor, se estableció la temperatura de 35°C y se recirculó la mezcla mediante una bomba peristáltica Jebao DP-4 durante un periodo de 15 días para asegurar que la biomasa activa se adhiera al empaque.

Durante 7 días se alimentó de manera semicontinuo cada 24 h un caudal de 105,5 ml/d correspondiente a una carga orgánica volumétrica inicial (Bv) de 0,2 g L-1. d-1, culminado los 15 días se aumentó la Bv, de acuerdo a la estabilidad del proceso de DA. Adicionalmente el sistema de desplazamiento Boyle-Mariotte se conectó a la campana del reactor mediante una manguera de ¼ in donde circula biogás y entra en contacto directo con la solución del NaOH al 15% P/V.

Arranque de los reactores en el SB

Para mayor apreciación se llamó al reactor A donde se desarrolló la Hid-Aci y al reactor B donde se desarrolló la Ace-Met. Ambos reactores A y B son inoculados mediante la mezcla 40% inóculo y 60% agua modelada en relación al volumen de reacción. El reactor A se sometió a un tratamiento térmico (choque térmico) que consistió en aumentar la temperatura a 100 ± 2°C durante un periodo de 2 h (Valdez y Poggi, 2009); para contribuir al enriquecimiento de bacterias celulolíticas formadoras de esporas; posteriormente se estableció la temperatura de 35°C y se recirculó la mezcla mediante una bomba peristáltica Jebao DP-4 durante un periodo de 15 días

para asegurar que la biomasa activa se adhiera el empaque.

Transcurrido 7 días se alimentó de manera semicontinua cada 24 h un caudal de 105,5 mL.d-1 correspondiente a una carga orgánica volumétrica inicial (Bv) de 0,2 g L-1 d-1, el efluente del reactor A alimenta al reactor B; culminado los 15 días se aumentó la Bv con base en la estabilidad que brinde el proceso en cuanto a sus variables de control. Ambos reactores poseen su propio sistema de desplazamiento Boyle-Mariotte, bajo el mismo principio de desplazamiento descrito en el SM.

Cálculo del caudal volumétrico (Qv) y el tiempo de retención hidráulica (TRH)

Una vez estabilizados los reactores y el inóculo aclimatado, se incrementó periódicamente la carga orgánica volumétrica (Bv), en función de los resultados observados de las variables de control, para determinar el rendimiento de metano. Para establecer el caudal volumétrico y tiempo de retención hidráulico se utilizó las Ecuaciones 2; 3 y 4 propuestas por Diaz (2018).

$$Q_m = B_v * V_r \quad \textbf{[2]}$$

Donde:
Q_m: Caudal másico, g d^{-1}
B_v: Carga orgánica volumétrico, g L^{-1} d^{-1}.
V_r: Volumen de reacción, L

El caudal volumétrico se define por la siguiente expresión:

$$Q_v = \frac{Q_m}{CO_{DQO}} \quad \textbf{[3]}$$

Donde:
Q_m: Caudal másico, g d^{-1}
Q_v: Caudal volumétrico, L d^{-1}
CO_{DQO}: Carga orgánica, g L^{-1}

El tiempo de retención hidráulica (TRH) se define como:

$$TRH = \frac{V_r}{Q_v} \quad \textbf{[4]}$$

Donde:
THR: Tiempo de retención hidráulica, d
Q_v: Caudal volumétrico, L d^{-1}
V_r: Volumen de reacción, L

Método de evaluación

Los ensayos analíticos empleados en la investigación se realizaron según los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales (APHA y WPCF, 2012) especificados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos aplicados según las variables en estudio

Parámetro	Método	Equipo
Potencial de hidrógeno	Potenciométrico	Fisher Scientific Accumet AB150
DQO	Espectrofotómetro UV-Vis	Thermo Scientific – Evolution 60S
DBO_5	Respirométrico	DBO hach - bod trak II
ST, SF y SV	Gravimétrico	Memmert D-91126
Relación AGV/Alc	Potenciométrico/ valoración	Fisher Scientific Accumet AB150
Composición del biogás	Medidor de gases	Multitec ®545

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron los resultados obtenidos durante la producción de metano en los SM y SB, utilizando agua modelada de la industria de café soluble, iniciando con la caracterización del agua residual y del inóculo, los cuales son las entradas fundamentales para implementar el arranque y posterior seguimiento de una forma continua a los reactores durante 13 semanas, validando el comportamiento de parámetros fisicoquímicos tales como: pH, FOSTAC, AGV, remoción DQO, rendimiento y concentración de metano, comparando los sistemas con pruebas paramétricas y no paramétricas, mediante el programa estadístico SPSS.

Caracterización del agua residual.

En la presente investigación se modeló agua residual de la industria de café soluble, con base en lo sugerido por García *et al*. (1995) y por Fernández y Forster (1993) quienes evalúan un extracto muy similar al proceso de producción de café instantáneo, con lo cual se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en el cuadro 2.

En la caracterización del agua modelada se puede evidenciar un pH ácido 5,4, un DQO de 7500 mg/L y un índice de biodegradabilidad 0,55 producto de la relación entre DBO5/DQO, lo que indica que es un sustrato con capacidad para degradación biológica, de acuerdo a lo reportado por Crites y Tchobanoglous (2000).

Cuadro 2. Métodos aplicados según las variables en estudio

Parámetro	Agua residual de la industria	Agua residual modelada
pH	5,25±1,25	5,40±0,8
DBO_5 (mg/L)	3 397,8 ± 1 090	4129,2±118
DQO (mg/L)	6 124,8 ± 2608	7 496,73±80
Índice de biodegradabilidad	0,5 ± 0,09	0,55±0,03

n=3
Promedio ± desviación estándar

Caracterización del inóculo

Durante el período de adaptación de los reactores se caracterizó el inóculo obteniendo los valores reportados en el cuadro 3. De acuerdo a lo establecido por la VDI 4630 (2006) este inóculo cumple con los requisitos para el adecuado inicio de la DA, debido a que su contenido de los SV en base seca fue mayor al 50%.

Cuadro 3. Caracterización del inóculo

Parámetro	Unidad	Valores
sólidos totales (ST)	gST/L	0,0502±0,0032
volátiles (SV)	gSV/L	0,0309±0,0035
suspendidos volátiles (SSV)	gSSV/L	0,0230±0,0033
disueltos volátiles (SDV)	gSDV/L	0,0079±0,0025

n=3
Promedio ± desviación estándar

Evaluación de variables con seguimiento diario

Como se evidencia en el cuadro 4, según prueba de normalidad de Kolmogorov - Smirnov, las variables de seguimiento diario (rendimiento de metano, pH, AGV y FOSTAC) no siguen una distribución normal, por tanto, se realiza una prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney.

Cuadro 4. Pruebas de normalidad para variables con seguimiento diario

	Kolmogorov –Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Rendimiento de Metano	1,882	180	0,002
pH	1,737	180	0,005
AGV	1,818	180	0,003
FOSTAC	1,956	180	0,001

No son significativamente diferentes (p>0.05)

En el cuadro 5, de resumen de los ADEVA explican que uno de los sistemas (SM o SB) provocan cambios altamente significativos en las variables respuestas estudiadas.

Cuadro 5. Pruebas de U de Mann-Whitney de muestras independientes para variables con seguimiento diario

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	Sig.
1	La distribución de dm3CH4/gDQO es la misma entre las categorías de sistema.	,000
2	La distribución de pH es la misma entre las categorías de sistema.	,000
3	La distribución de mg/L es la misma entre las categorías de sistema.	,000
4	La distribución de FOSTAC es la misma entre las categorías de sistema.	,000

No son significativamente diferentes (p>0,05)

Rendimiento de metano

Como se aprecia en el gráfico 1, se representan los sistemas evaluados en el eje "X" y al rendimiento de metano en el eje "Y", el cual es expresado en dm^3 CH_4/gDQO, los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney para el rendimiento de CH_4 son menor a 0,05, es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos sistemas. Lo que concuerda con Chinchilla (2013) reportando que valores de producción de metano en el SB es mayor al SM, debido a que el SB reúne las condiciones óptimas para la DA.

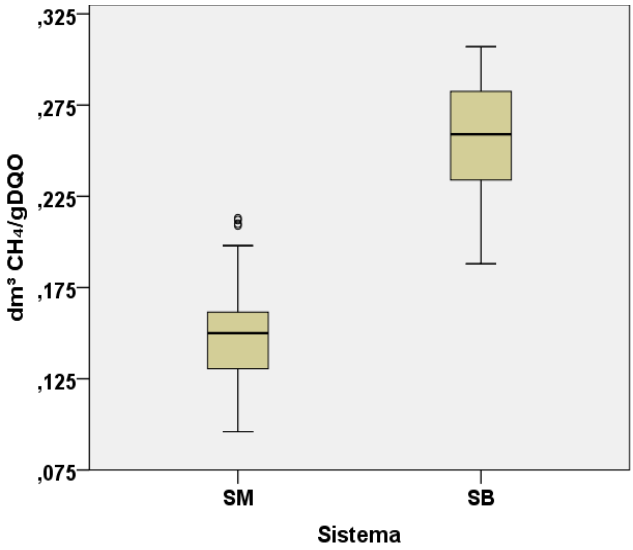


Gráfico 1. Comparación de gráficas de caja para rendimiento de metano entre los SM y SB

Existe datos atípicos que se evidencian en el gráfico 1, por lo que se procede a realizar la prueba de Moses para constatar la significancia de dichos valores, en el cuadro 6 se evidencia estadísticamente que los valores atípicos del SM son altamente significativos como se muestra en el gráfico 2.

Cuadro 6. Pruebas de Moses de reacción extrema de muestras independientes para rendimiento de CH_4

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	Sig.
1	El intervalo de Rendimiento.CH_4 es el mismo entre las categorías de sistema.	1,207E-34[1]
[1]Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		

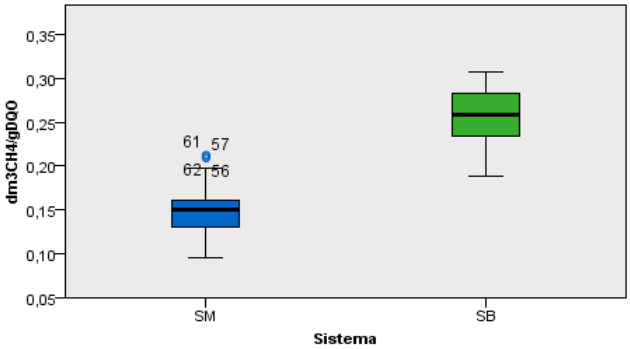


Gráfico 2. Comparación de gráficas en prueba de Mosses para rendimiento de metano entre los SM y SB

pH

Como se aprecia en el gráfico 3, los valores de pH obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney para el pH presentaron diferencias significativas (p≥0,05).

El SB presentó mayor estabilidad de los resultados de pH en comparación a los del SM, debido a que durante la separación de fases del SB en el reactor acidogénico los compuestos orgánicos solubles son convertidos en ácidos orgánicos lo que facilita la DA en la siguiente etapa del reactor metanogénico, por lo cual es más fácil controlar un pH en donde la mayoría de su población de microorganismos se encuentra en ambiente neutro-alcalino, lo que concuerda con Göblös *et al*. (2008).

De similar manera Quintero y Rondón (2012) señalan que es muy importante mantener los valores de pH estable porque los cambios en este parámetro pueden afectar la población metanogénica que están presente en los lodos. Por tanto, Aristizábal (2015) plantea que se debe conocer la cantidad aproximada de base (NaOH) que debe ser agregada para neutralizar el sustrato. Adicionalmente, existen datos atípicos que se evidencian en el gráfico 3, por lo que se procede a realizar la prueba de Moses para contrastar la significancia de dichos valores mostrado en el gráfico 4.

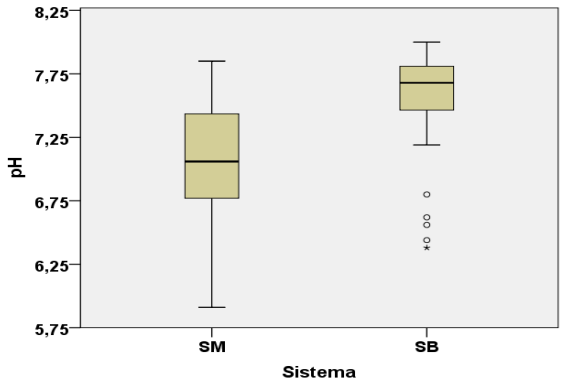


Gráfico 3. Comparación de gráficas de caja para pH entre los SM y SB.

De acuerdo a la prueba de Moses del cuadro 7, los valores atípicos del sistema SB son altamente significativos. Los cuales son evidenciados en el gráfico 4.

Cuadro 7. Pruebas de Moses de reacción extrema de muestras independientes para pH

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	**Sig.**
1	El intervalo de pH es el mismo entre las categorías de Sistema.	6,632E-4[1]
[1]Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		

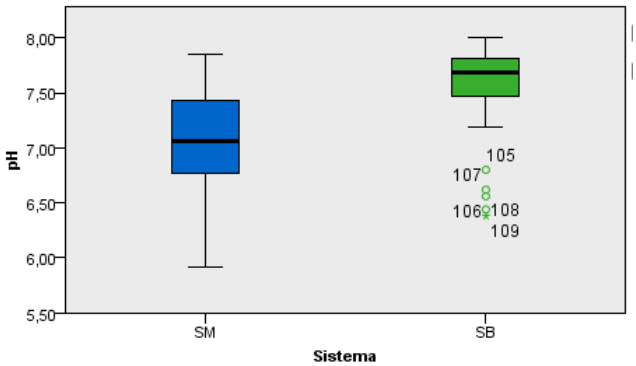


Gráfico 4. Comparación de gráficas en prueba de Moses para pH entre los SM y SB

AGV

Como se aprecia en el gráfico 5, se representan los sistemas evaluados en el eje "X" y los valores de AGV en el eje "Y", los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney son menor a 0,05; es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos SD, evidenciando el SB produce ligeramente mayores niveles de ácidos grasos volátiles (mg/L) con mayor estabilidad que en el SM, lo que concuerda con lo reportado por Ashley y Hurst (1981); Speece y Parking (1983) que establecen que la concentración de AGV no debe exceder de los 500 mg/L para el desarrollo óptimo del proceso metanogénico. De similar manera los valores mínimos del SB de la presente investigación son análogos a los reportados por Guardia (2012) en su estudio de DA en SB. Por otra parte, Bolte, Hill, y Wood (1986); Braun, Huber y Meyrath (1981) realizaron estudios con desechos de cerdos donde reportan valores menores de 10 y hasta 527mg/L.

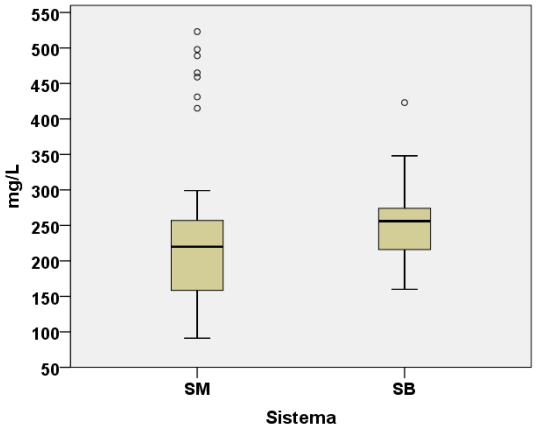


Gráfico 5. Comparación de gráficas de caja para AGV entre los SM y SB

De acuerdo a la prueba de Moses del cuadro 8, los valores atípicos del sistema no son significativos, los cuales se pueden visualizar en el gráfico 6.

Cuadro 8. Pruebas de Moses de reacción extrema de muestras independientes para AGV

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	**Sig.**
1	El intervalo de AGV es el mismo entre las categorías de sistema.	1,000[1]
[1]Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		

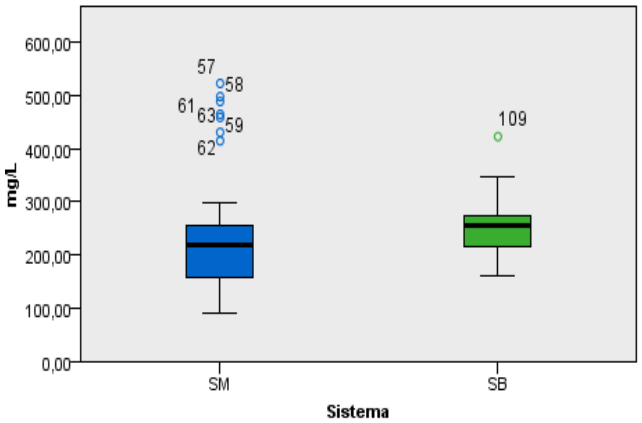


Gráfico 6. Comparación de gráficas en prueba de Mosesº para AGV entre los SM y SB.

FOSTAC

Como se aprecia en la gráfico 7, se representan los sistemas evaluados en el eje "X" y los valores de FOSTAC en el eje "Y", los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney son menor a 0,05; es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos SD, sin embargo los mejores valores de la relación de FOSTAC fueron efectuadas en el SB situándose entre 0,42 a 0,60 lo que concuerda con Lossie y Pütz (2011); Failla y Restuccia (2014) en donde mencionan que los rangos de FOSTAC es considerado estable cuando se encuentra entre 0,4 a 0,6 debido a que permite detectar a tiempo los problemas del proceso, hasta el inminente vuelco de la fase biológica del digestor, con lo que pueden tomarse contramedidas inmediatamente.

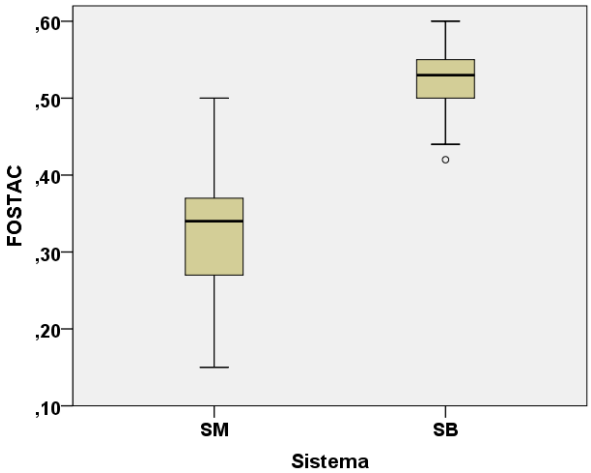


Gráfico 7. Comparación de pruebas U de Mann-Whitney para FOSTAC entre los SM y SB.

De acuerdo a la prueba de Moses del cuadro 9, los valores atípicos del sistema no son significativos, lo cual se aprecia en el gráfico 8.

Cuadro 9. Pruebas de Moses de reacción extrema de muestras independientes para FOSTAC

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	**Sig.**
1	El intervalo de FOSTAC es el mismo entre las categorías de sistema.	1,604E-33[1]
[1]Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		

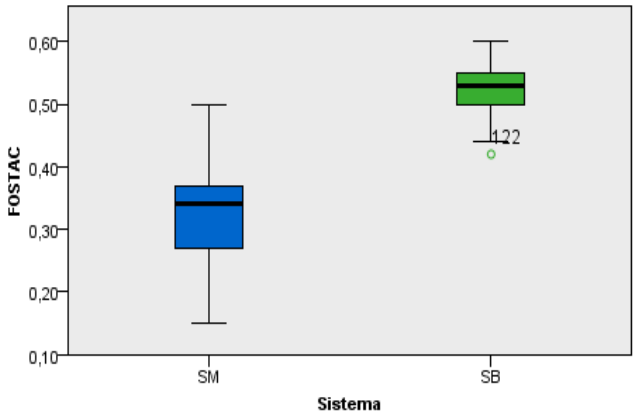


Gráfico 8. Comparación de gráficas en prueba de Moses para FOSTAC entre los SM y SB

Evaluación de variables con seguimiento semanal

Como se evidencia en el cuadro 10, según la prueba de normalidad de Shapiro Wills, la remoción de DQO únicamente sigue una distribución normal en el SM a diferencia que en concentración de metano se presenta una distribución normal en ambos SD.

Cuadro 10. Pruebas de normalidad para variables con seguimiento semanal

		Shapiro-Wilk		
	Sistema	Estadístico	Gl	Sig.
Remoción DQO	SM	0,936	13	0,406
	SB	0,851	13	0,029
Concentración de metano	SM	0,960	13	0,756
	SB	0,870	13	0,053

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de la significación de Lilliefors
No son significativamente diferentes (p>0,05)

Como se evidencia en el cuadro 11, según la prueba de homogeneidad de varianza, resultó significativa para la remoción de DQO, a diferencia de la concentración de metano que no presentó diferencia significativa.

Cuadro 11. Prueba de homogeneidad de varianza para variables con seguimiento semanal

	Levene			
	Estadístico	gl1	gl2	Sig.
Remoción DQO	7,658	1	24	0,011
Concentración de metano	0,829	1	24	0,371

No son significativamente diferentes (p>0,05)
Nota. Fuente: Autores de la investigación

La remoción de DQO no cumple con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por lo cual se utiliza una prueba no paramétrica, la prueba U de Mann-Whitney, en cambio la concentración de metano cumple con ambos supuestos, por tal antecedente se utiliza una prueba paramétrica de ADEVA.
En el cuadro 12 de resumen de los ADEVA se detalla que uno de los sistemas (SM o SB) provocan cambios altamente significativos en la remoción de DQO

Cuadro 12. Prueba de U de Mann-Whitney de muestras independientes para remoción de DQO

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	Sig.
1	La distribución de Remoción.DQO es la misma entre las categorías de Sistema.	,002[1]
[1]Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		

No son significativamente diferentes (p>0,05)

Remoción de DQO

Como se aprecia en el gráfico 9, se representan los sistemas evaluados en el eje "X" y los valores de remoción de DQO en el eje "Y", los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney son menor a 0,05; es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la minúscula

hipótesis alternativa, con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos SD, por lo tanto, se evidencia que existe mayor remoción de DQO en el SB lo que concuerda con Guardia (2012) resaltando que un SB es más eficiente que un SM.

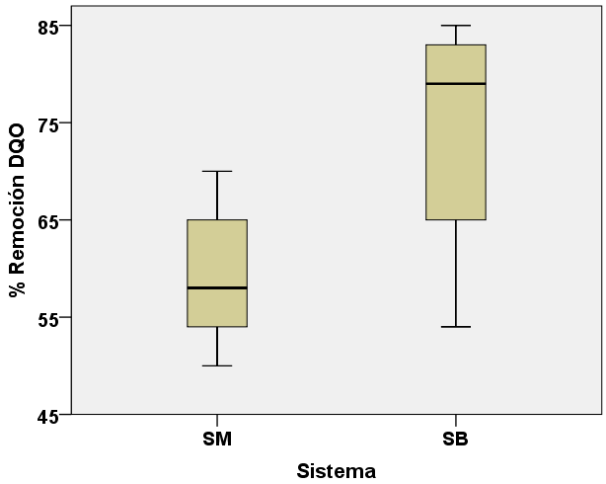


Gráfico 9. Comparación de gráficas de caja para remoción de DQO entre los SM y SB

En el cuadro 13, de resumen de ADEVA se evidencia que uno de los sistemas (SM o SB) provocan cambios altamente significativos en la concentración de metano.

Cuadro 13. Prueba de ADEVA para concentración de metano.

Resumen de prueba de hipótesis					
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	193,885	1	193,885	16,50	0,0
Error	282,000	24	11,750		
Total	475,885	25			

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05

Concentración de metano

Como se aprecia en la gráfico 10, se representan los sistemas evaluados en el eje "X" y los valores de concentración de metano en el eje "Y", los resultados obtenidos mediante la prueba de ADEVA son menor a 0,05; es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos SD, evidenciando que el SM produce ligeramente mayor concentraciones de metano que en el SB, sin embargo, el rendimiento de metano es superior en el SB y los resultados concuerdan con valores similares reportados por Dinsdale *et al*. (1997); Scano *et al*. (2014) entre 45 a 60%, siendo así que ambos sistemas son considerados

combustibles según Varnero (2011), el cual indica que valores por encima de 45% de concentración de metano son inflamables.

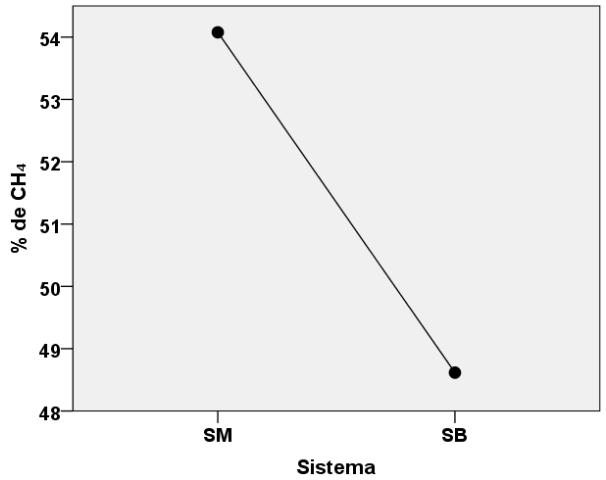


Gráfico 10. Comparación de medidas para concentración de metano entre los SM y SB

Adicionalmente, Guardia *et al*. (2014) en su estudio relacionado con digestión anaerobia de aguas residuales de café, obtuvo 61% de metano, encontrando concentraciones por encima de la presente investigación.

CONCLUSIONES

Se logró modelar las principales características fisicoquímicas del agua residual de la industrial de café instantáneo con una similitud del 86% con respecto al agua residual de este tipo de industria de café soluble.

El SB tuvo un incremento de producción de metano del 70% en relación al SM.

Se identificó que las mejores condiciones de operación se desarrollaron en el SB con pH (6,38-8,0), FOSTAC (0,42-0,60), AGV (160-423mg/l), remoción DQO (61-85%).

LITERATURA CITADA

APHA, AWWA, WEF. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater. (22nd ed.), Washington: American Public Health Association, 1360. doi:ISBN 978-087553-013-0.

Aristizábal , C. 2015. Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. Ingenierías USBMed, 6(2): 36-41.

Ashley, N., y Hurst, T. 1981. Acid and alkaline phosphatase activity in anaerobic digested sludge: a biochemical predictor of digester failure. Water Res, 15: 633-638.

Blinová, L., Sirotiak, M., Bartošová, A., y Soldán, M. 2017. Utilization of waste from coffee production. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology, 25(40): 91-101.

Bolte, J., Hill, D., y Wood, T. 1986. Anaerobic Digestion of Screened Swine Waste Liquids in Suspended Particle-Attached Growth Reactors. Transactions of the ASAE, 29(2):543-549.

Braun, R., Huber, P., y Meyrath, J. 1981. Ammonia toxicity in liquid piggery manure digestion. Biotechnology Letters, 3(4): 159-164.

Chen, Y., Cheng, J., y Creamer, K. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. Bioresource technology, 99:4044–4064. doi:10.1016/j.biortech.2007.01.057.

Chinchilla, J. 2013. Evaluación de la producción de metano en el tratamiento de los residuos del café mediante la digestión anaerobia en dos fases. (Tesis pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Recuperado el 9 de junio de 2020, de http://hdl.handle.net/11036/1764.

Crites, R., y Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw-Hill. doi:ISBN: 9789584100429.

Diaz, J. 2018. Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA. doi:ISBN: 978-84-283-4152-3.

Dinsdale, R., Hawkes, F., y Hawkes, D. 1997. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion with thermophilic pre-acidification of instant-coffee-production wastewater. Water research, 31(8): 1931-1938. doi:10.1016/S0043-1354(97)00041-9.

El Telégrafo. 2017. Cafeteros de Ecuador se reunieron con empresarios rusos para fortalecer exportaciones. Recuperado el 25 de mayo de 2019, de https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/cafeteros-de-ecuador-se-reunieron-con-empresarios-rusos-para-fortalecer-exportaciones.

Failla, S., y Restuccia, A. 2014. Methane potentials from grape marc by a laboratory scale plant. Applied Mathematical Sciences, 8(132): 6665-6678.

FAO (Food and agriculture organization of the United Nations). 2013. La bioenergía y los biocombustibles. Vías de la sostenibilidad. Recuperado el 30 de mayo de 2019, de http://www.fao.org/3/a-ar589s.pdf.

Fernandez, N., y Forster, C. 1993. A study of the operation of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a synthetic coffee waste. Bioresource technology, 45(3): 223-227.

Fisgativa, H., Tremier, A., Le Roux, S., Bureau, C., y Dabert, P. 2017. Understanding the anaerobic biodegradability of food waste: Relationship between the typological, biochemical and microbial characteristics. Environmental Management, 188: 95-107.

García, S., Herrera, M., Behling, E., Gutíerrez, E., Chacín, E., y Fernández, N. 1995. Inhibidor natural de las aguas residuales de procesado de café en el tratamiento anaerobio. Ciencia, 3(3).

Göblös, S., Portörő, P., Bordás, D., Kálmán, M., y Kiss, I. 2008. Comparison of the effectivities of two-phase and single-phase anaerobic sequencing batch reactors during dairy wastewater treatment. Renewable Energy, 33(5): 960-965.

González, M., Pérez, S., Wong, A., Bello, R., y Yanez, G. 2015. Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. Revista Argentina de microbiología, 47(3): 229-235.

González, M. 2009. Producción de bioenergía en el norte de México: Tan lejos y tan cerca. Frontera Norte, 21(41): 177-183.

Guardia, Y., Rodríguez, S., Jiménez, J., y Sánchez, V. 2014. Performance of a UASB reactor treating coffee wet wastewater. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(2):50-56.

Guardia, Y. 2012. Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Recuperado el 1 de junio de 2019, de http://oa.upm.es/14684/.

Lazcano, T. 2015. Evolución anual de la producción mundial de café: La producción mundial de café ha crecido más del 50% en los últimos 25 años.

Lossie, U., y Pütz, P. 2011. Control orientado de plantas de biogás con la ayuda de FOS/TAC. Analitica de Laboratorio valoración FOS/TAC, 1-4. Alemania. Recuperado el 22 de junio de 2020, de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/FOSTAC.pdf.

Morales, C., y Vera, J. 2018. Producción de metano a partir de las aguas residuales generadas en la Industria del café instantáneo en régimen Termofílico continuo con presencia de taninos. Segunda Convencion cientifica Internacional de la UTM 2018. Universidad Tecnica de Manabí, Portoviejo. Recuperado el 10 de febrero de 2020.

Murthy, P., y Naidu, M. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. Resources, Conservation and recycling, 66: 45-58.

Mussatto, S., Machado, E., Martins, S., y Teixeira, J. 2011. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. Food and Bioprocess Technology, 4(5): 661-672.

Peñaranda, L., Montenegro, S., y Giraldo, P. 2017. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. Investigación Agraria y Ambiental, 8(2):141-150.

Quintero, M., y Rondón, Y. 2012. Estudio preliminar de la producción de biogás a partir de la Digestión anaerobia del mucílago de café utilizando lodo estiercol del cerdo como inóculo (Doctoral dissertation). (Tesis pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Recuperado el 31 de agosto de 2019, de http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/145234.pdf.

Ramírez, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de arroz (oriza sativa) y residuos de papa (solanum tuberosum) para la producción de trichoderma spp. (Tesis pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Recuperado el 31 de agosto de 2019, de http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3063/1/SBQ.29.pdf.

Restrepo, A., Rodríguez, E., y Manjarrés, K. 2011. Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroidustriales. Produccion + Limpia, 6(2): 47-57.

Rosas, D., Ortiz, H., Herrera, J., y Leyva, O. 2016. Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencia de aplicación a suelos agrícolas. Agro Productividad, 9(8):18-23.

Saval, S. 2012. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. BioTecnología, 16(2):14-46.

Scano, E., Asquer, C., Pistis, A., Ortu, L., Demontis, V., y Cocco, D. 2014. Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. Energy Conversion and Management, 7:22-30.

Speece, R., y Parking, G. 1983. The response of methane bacteria to toxicity. Proceedings 3rd International Symposium on Anaerobic Digestion, (págs. 23-35). Boston.

Valdez, I., y Poggi, H. 2009. Hydrogen production by fermentative consortia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(5): 1000–1013.

Vargas, Y., y Pérez, L. 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. Facultad de Ciencias Básicas, 14(1): 59-72.

Varnero, M. 2011. Manual de biogás. FAO. (Food and agriculture organization of the United Nations), Chile. Recuperado el 31 de mayo de 2019, de http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI 4630). 2006. Fermentation of organic materials, characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Berlin. Recuperado el 20 de febrero de 2020, de https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/2385990.pdf.

Yánez, J. 2018. Estudio de la película plateada del café para su reutilización en panadería. Ecuador. (Tesis pregrado). Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato. Recuperado el 23 de mayo de 2019, de http://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/8016.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

CRECIMIENTO Y VARIABLES ECOFISIOLÓGICAS EN BRINZALES DE *Ziziphus thyrsiflora* Y *Myroxylon balsamum* CULTIVADOS EN VIVERO

GROWTH AND ECOPHYSIOLOGICAL VARIABLES IN SEEDLINGS OF *Ziziphus thyrsiflora* AND *Myroxylon balsamum* NURSERY GROWN

Dolores Rosalía Mendoza Chumo, Gibelly Lisbeth Naranjo Moran, Esteban Chirino Miranda,

Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manabí, Ecuador

Email: doloresmendozam04@gmail.com, gibelynaranjom04@gmail.com, esteban.chirino@uleam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
11/08/2021

Aceptado:
15/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 3.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):95-106

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.268

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la estrategia en crecimiento, control estomático y potencial hídrico de brinzales de ébano (*Ziziphus thyrsiflora*) y bálsamo (*Myroxylon balsamum*) en condiciones de humedad óptima del substrato en vivero. Brinzales de 18 meses fueron trasplantados a macetas de 5 L y cultivados durante tres meses en condiciones de vivero. Al finalizar este período se evalúo: altura del tallo, diámetro en la base del tallo, tasa de crecimiento relativo (*TCR*) en altura y diámetro, profundidad máxima de enraizamiento, contenido de agua en el suelo (*SWC*), potencial hídrico al alba (Ψ_{pd}), conductancia estomática (*Gs*), y varios índices del estado hídrico de las hojas (contenido hídrico relativo, *CHR;* contenido de agua para la saturación, *CAS*; déficit de agua para la saturación, *DAS*). Los resultados indicaron que *Z. thyrsiflora* mostró mayor altura, diámetro y *TCR* en diámetro; no observándose diferencias entre especies respecto a la profundidad máxima de enraizamiento (50 cm). Aunque las dos especies fueron regadas al mismo tiempo con igual dosis, *Z. thyrsiflora* registró inferior *SWC* que *M. balsamum* cuando Ψ_{pd} fue medido; lo cual se reflejó en un menor Ψ_{pd} (*Z. thyrsiflora*, Ψ_{pd}= -0,74MPa; *M. balsamum*, Ψ_{pd}= -0,52 MPa) y mayor *CAS* (*Z. thyrsiflora*, *CAS*=0,27 g H_2O g^{-1} *PS*; *M. balsamum*, *CAS*=0,14 g H_2O g^{-1} *PS*). *SWC* correlacionó positivamente con el Ψ_{pd} y negativamente con el *CAS*. *Z. thyrsiflora* mantuvo valores superiores de *Gs* (191,10 mol$H_20.m^{-2}.s^{-1}$); respecto a *M. balsamum* (100,84 mol$H_20.m^{-2}.s^{-1}$). *Z. thyrsiflora* mostró una estrategia anisohídrica y *M. balsamum* una estrategia isohídrica.

Palabras clave: tasa de crecimiento relativo, potencial hídrico, conductancia estomática, isohídrico, anisohídrico.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the growth strategy, stomatal control and water potential in seedlings of ebony (*Ziziphus thyrsiflora*) and balsam (*Myroxylon balsamum*) in optimum humidity conditions of the substrate in the nursery. 18-month-old seedlings were transplanted into 5 L pots and grown for three months in nursery conditions. At the end of this period, the following variables were evaluated: stem height, diameter at the base of the stem, relative growth rate (*TCR*) in height and diameter, maximum rooting depth, soil water content (*SWC*), predawn water potential (Ψ_{pd}), stomatal conductance (*Gs*), and various indices of leaf water status (relative water content, *CHR*; water content for saturation, *CAS*; water deficit for saturation, *DAS*). The results indicated that *Z. thyrsiflora* showed greater height, diameter and *TCR* in diameter; not observing differences between species regarding the maximum rooting depth (50 cm). Although the two species were watered at the same time with the same dose, *Z. thyrsiflora* registered a lower *SWC* than *M. balsamum* when Ψ_{pd} was measured; which was reflected in a lower Ψ_{pd} (*Z. thyrsiflora*, Ψ_{pd} = -0.74MPa; *M. balsamum*, Ψ_{pd} = -0.52 MPa) and higher *CAS* (*Z. thyrsiflora*, *CAS* = 0.27 g H_2O g^{-1} *PS*; *M. balsamum*, *CAS* = 0.14 g H_2O g^{-1} *PS*). *SWC* correlated positively with Ψ_{pd} and negatively with *CAS*. *Z. thyrsiflora* maintained higher *Gs* values (191.10 mol$H_20.m^{-2}.s^{-1}$); with respect to *M. balsamum* (100.84 mol$H_20.m^{-2}.s^{-1}$). *Z. thyrsiflora* showed an anisohydric strategy and *M. balsamum* an isohydric strategy.

Keywords: relative growth rate, water potential, stomatal conductance, isohydric, anisohydric.

INTRODUCCIÓN

Los bosques secos en Ecuador se encuentran continuos en el litoral y aislados en los valles secos interandinos (Aguirre *et al*., 2006a), forman parte de la región Tumbesina y ocupan 62 000 km^2 compartidos entre Ecuador y Perú (Linares-Palomino *et al*., 2009), lo que representa aproximadamente el 35% del Ecuador occidental (Aguirre y Geada-López, 2017). Los bosques secos de la región Tumbesina constituyen "El centro de endemismo Tumbesino" y uno de los puntos calientes de biodiversidad del planeta (Myers *et al*., 2000; Paladines, 2003). A pesar de su alto endemismo y diversidad florística, los bosques secos tropicales siguen estando poco protegidos (Pennington *et al*., 2006), y se encuentran amenazados por la expansión de la frontera agrícola, el sobrepastoreo, la extracción de madera y los incendios forestales, factores principales que reducen la superficie de dicho ecosistema (Aguirre *et al*., 2014).

A pesar de la amenaza existente sobre los bosques secos tropicales, existen áreas donde estos bosques han sido poco intervenidos y aún se puede encontrar una gran diversidad de especies leñosas y principalmente de especies endémicas (Aguirre *et al*., 2006b). Ébano (*Ziziphus thyrsiflora* Benth) y bálsamo (*Myroxylon balsamum* L.) son dos especies maderables endémicas de bosque seco que están amenazadas por la deforestación (Aguirre, 2012; Indacochea *et al*., 2017), destrucción del hábitat y sobrexplotación para extracción de su madera (Payares-Díaz *et al*., 2014). La especie *Z. thyrsiflora* pertenece a la familia *Rhamnaceae*, y se encuentra distribuida en la región Tumbesina. Es un árbol perennifolio de 10-18 m de altura, presenta espinas opuestas (pareadas) en las ramitas terminales, sus hojas son simples alternas, se reproduce por semillas y es de crecimiento lento (Aguirre, 2012). *M. balsamum* es una especie perteneciente a la familia *Fabaceae*, y en Ecuador se encuentra en las provincias de Manabí y Esmeraldas (Indacochea *et al*., 2017). Es un árbol perennifolio, de 30-35 m de altura, crece anualmente un promedio de 2,8 m en altura y 2.4 cm en diámetro, presenta hojas compuestas de 5 a 10 foliolos alternos, tiene una raíz pivotante y ramificada y es una especie de fácil adaptación (Morales, 2013).

Los estudios en viveros relacionados con las características morfológicas de especies forestales permiten evaluar la dinámica de desarrollo de las especies en condiciones controladas (Muñoz *et al*., 2011). Así mismo, la tecnología de producción utilizada durante el cultivo en vivero determinará la calidad de la planta forestal producida y su mejor establecimiento en el campo (Chirino *et al*., 2009; Prieto *et al*., 2018). Por otra parte, los estudios sobre ecofisiología vegetal, son una herramienta muy útil para ayudar a explicar los procesos involucrados en la respuesta de las especies a diferentes condiciones abióticas (Vilagrosa *et al*., 2008); y en este contexto, son evaluadas variables de crecimiento, como altura de la planta y diámetro en la base del tallo (Muñoz *et al*., 2011); así como variables ecofisiológicas relacionadas con el potencial hídrico (Luna-Flores *et al*., 2012) y la conductancia estomática de las especies (Chirino *et al*., 2017). Históricamente, las variables relacionadas con el crecimiento de las plantas se han asociado a evaluaciones de las características morfológicas y de calidad de la planta forestal (Muñoz *et al*., 2015). De igual forma, la medición del contenido hídrico relativo en hoja y del potencial hídrico permiten conocer la capacidad y tolerancia que tienen las especies a las restricciones hídricas (Borjas *et al*., 2015; Peña-Rojas *et al*., 2018a); siendo el potencial hídrico y la conductancia estomática dos variables ecofisiológicas asociadas al estado hídrico de la planta (Luna-Flores *et al*., 2012) y a las estrategias de las especies ante el estrés hídrico (McDowell, 2011).

Comprender la relación que existe entre la planta y el agua permite analizar el estado hídrico de la misma (Ruscitti, 2015), para lo cual existen varios índices como: el contenido hídrico relativo (*CHR*), el déficit de agua para la saturación (*DAS*) y la cantidad de agua para la saturación (*CAS*) (Bacelar *et al*., 2006). El *CHR* es una variable complementaria al potencial hídrico (Ψ) con el fin de determinar el estado hídrico de las plantas (Guajardo, 2010), y está asociado al nivel de estrés de las mismas (Ariza, 2017). El *DAS* se expresa en porcentaje y se produce cuando la planta libera más agua de la que recibe (Čierniková *et al*., 2021), es utilizado para detectar la tolerancia de las plantas a la escasez temporal del agua (Rybka *et al*., 2019) y el *CAS* es la cantidad de agua que le hace falta a la hoja para la saturación (Abd-El-Rahman *et al*., 1966).

El agua se considera el principal factor limitante del crecimiento en los ecosistemas terrestres naturales y es uno de los factores más importantes promotores del crecimiento en ecosistemas artificiales como los invernaderos (Landis *et al*., 1989). Durante el período de cultivo en vivero, mantener el contenido de agua del substrato en un rango óptimo juega un papel muy importante en la calidad de la planta producida, por cuanto determina en cierta medida el desarrollo de las plantas y sus características morfológicas (Chirino *et al*., 2004). Una célula vegetal requiere un contenido de agua entre 85 a 90% (González *et al*., 2018). La reducción o el incremento excesivo de contenido de agua en el suelo afecta la actividad de la célula vegetal y el crecimiento de las plantas (Maiti *et al*., 2016). Estudios previos consultados (Calle y Proaño, 2003; Barrios-Díaz *et al*., 2006; Abrisqueta, 2010; Torrente y Rojas, 2011) indican que valores de humedad del suelo superiores a 25% pueden corresponder a valores de humedad óptima del suelo porque no limitan el desarrollo del cultivo; pero

evidentemente, el rango de humedad óptima del suelo para el cultivo estará en función de las características de cada especie.

Los estudios sobre ecofisiología en especies endémicas de bosques secos tropicales son escasos. En las bases bibliográficas consultadas no se encontraron estudios relacionados con evaluaciones de potencial hídrico y conductancia estomática en *Z. thyrsiflora* y *M. balsamum*. En este contexto, resulta necesario e importante la investigación científica enfocada a la ecofisiología vegetal (Melgarejo *et al*., 2010), y especialmente, en especies pertenecientes a bosques secos tropicales como en este caso. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la estrategia en crecimiento, control estomático y potencial hídrico de brinzales de *Z. thyrsiflora* y *M. balsamum* en condiciones de humedad óptima del substrato en vivero, como paso previo a la evaluación de la respuesta de estas especies en condiciones de estrés hídrico. Mediante este estudio es posible lograr una aproximación al conocimiento de los requerimientos hídricos de una especie y su estrategia en el uso del recurso agua. De igual forma, contribuye a mejorar en vivero las características morfológicas y fisiológicas de los brinzales (Luis-Díaz, 2009); mejorar la calidad de los brinzales para la conservación de las especies ante climas cambiantes (De la Riva *et al*., 2013); y a comprender la dinámica de las comunidades ante factores ambientales y antrópicos (Yates *et al*., 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Período de cultivo en vivero

El experimento se realizó en el vivero del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Manabí en la localidad de Lodana (coordenadas 1°l0'30.19"S y 80°23'10.66"O). Para el desarrollo del experimento, fueron adquiridos 70 brinzales con edad de 18 meses, de las especies *Ziziphus thyrsiflora* Benth (ébano) y *Myroxylon balsamum* L. (bálsamo), procedentes del bosque protector Cerro Blanco (Región Costa, Ecuador; coordenadas 2°11'00.52"S y 80°00'58.58"O).

Cuarenta y uno brinzales de cada especie ébano (*Z. thyrsiflora*) y Bálsamo (*M. balsamum*), cultivados en bolsas de polietileno (diámetro: 12,7 cm y profundidad: 20,3 cm), fueron trasplantados a macetas de 5,5 L (diámetro: 18 cm, profundidad: 21,5 cm). Se utilizó como substrato una mezcla de compost de restos vegetales y suelo forestal, con arena de río en proporción 4:2 kg/kg. A dicha mezcla se le aplicó una fertilización adicional de 2 g de fertilizante de liberación lenta (fertilizante Multicote, 14-7-14, 12 meses de longevidad) por litro de substrato. Durante el periodo de cultivo en vivero (13/11/2019 a 06/02/2020), se aplicó un régimen de riego de 25 mm dos veces por semana, lo que permitió mantener la humedad del substrato en valores superiores a 25%.

Monitoreo del crecimiento

Durante la fase de cultivo en vivero se midió la altura del tallo (*Hs*; cm) y el diámetro en la base del tallo (*D*; mm) en 15 individuos (indiv.) seleccionados al azar por cada especie (total 30 indiv.). Las mediciones se realizaron una semana después del trasplante (21/11/2019), y a los 86 días de cultivo en vivero (06/02/2020). Posteriormente se calculó la tasa de crecimiento relativo en altura (*TCR*) mediante la siguiente expresión matemática: $TCR = (\ln(Hst_2) - \ln(Hst_1)) / (t_2 - t_1)$; donde Hst_2 y Hst_1 corresponden a la altura de los brinzales al final (t_2 tiempo final) y principio (t_1 tiempo inicial) de la etapa de cultivo en vivero. Para determinar la *TCR* en diámetro se realizó un procedimiento similar.

Crecimiento potencial de raíces

Considerando la importancia del sistema radical de las plantas en la captación de agua y nutrientes, se realizó una prueba de crecimiento potencial de raíces (*CPR)*. El objetivo de esta tarea fue evaluar la estrategia de crecimiento y morfología del sistema radical de las especies estudiadas en condiciones de humedad óptima. Para ello, se seleccionaron al azar siete indiv. /especie, cultivados en bolsas de polietileno (diámetro: 12,7 cm y profundidad: 20,3 cm), los cuales fueron trasplantados en tubos de PVC (diámetro 11 cm, profundidad 50 cm). Se utilizó como substrato arena de río. Los individuos fueron cultivados durante 45 días en condiciones de humedad óptima, es decir, contenidos de agua en el suelo (*SWC*) superiores a 25%. Al finalizar este período, los tubos fueron cortados longitudinalmente y con mucho cuidado, se fue retirando la arena, con el fin de medir la profundidad máxima de enraizamiento.

Medición del potencial hídrico e índices del estado hídrico de las hojas

Una vez finalizada la fase de cultivo en macetas, se seleccionaron al azar 7 indiv/especie (14 indiv. total), a los cuales se les aplicó un riego (dosis 25 mm) el día previo a la medición, con la finalidad de alcanzar niveles de *SWC* > 25%. En la madrugada del día siguiente, y utilizando la cámara de Sholander (Soil Moisture 3005, Soil moisture Equipment Corp., Santa Bárbara, CA, USA), se midió potencial hídrico al alba (Ψ_{pd}; -MPa) en una ramita con diámetro aproximado entre 2-3 mm. Las mediciones se realizaron antes del amanecer, entre las 4:00-5:30 h. Simultáneamente, se midió la humedad del suelo (*SWC*) utilizando la sonda Theta-probe (Delta-TDevices Ltd., Cambridge, UK).

Después de tomar la muestra para determinar el potencial hídrico, en los mismos individuos se tomaron al azar tres

hojas en la especie ébano y tres foliolos en la especie bálsamo, con el objetivo de determinar varios índices del estado hídrico en las hojas. Cada muestra (hoja o foliolo), se envolvió en papel de aluminio y las tres fueron depositadas en una funda de plástico con cierre, debidamente etiquetada. Seguidamente las muestras foliares se colocaron en una nevera portátil, a baja temperatura en su interior, mantenida con dos piezas de gel congelado. Posteriormente en el laboratorio, y siguiendo el método descrito por Bacelar *et al*. (2006), se calcularon las siguientes índices del estado hídrico en las hojas: contenido hídrico relativo en hoja (*CHR; %*) *CHR* = ((*PF - PS*) / (*PT - PS*)) x *100*, contenido de agua para la saturación (*CAS*; g H_2O g^{-1} *PS*) *CAS = (PT - PF) / PS* y déficit de agua para la saturación (*DAS; %) DAS= (PT - PF) / (PT - PS) * 100*, donde *PF*, *PT* y *PS* representan el peso fresco, peso turgente y peso seco de la hoja (o foliolo) respectivamente.

Medición de intercambio de gases

El mismo día de las mediciones de potencial hídrico, se midió al mediodía intercambio de gases. El día anterior, fueron seleccionados al azar 20 indiv. /especie cultivados en macetas durante tres meses, a los cuales se les aplicó un riego con una dosis de 25 mm, con la finalidad de alcanzar niveles de *SWC* > 25%. Al día siguiente, en el horario entre las 11:30 a 13:30 h, después que los individuos estuvieran expuestos al menos dos horas a la luz solar, se midió conductancia estomática (*Gs*; $molH_2O.m^{-2}.s^{-1}$), utilizando el porómetro AP4 (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK). Las mediciones se realizaron bajo las siguientes condiciones ambientales: temperatura (T^a) 33,14±0.11ºC, humedad relativa (*HR*) ≈ 70% y densidad de flujo de fotones fotosintéticos (*PPFD*) 435,4±25 $\mu mol \cdot m^{-2}.s^{-1}$. Seguidamente se midió la humedad del suelo (*SWC*; %) en cada individuo utilizando la sonda Theta-probe (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK).

Análisis estadístico

La comparación de las medias de las variables altura del tallo (*Hs*; cm), diámetro en la base del tallo (*D*; mm), tasa de crecimiento relativo en altura y diámetro (*TCR*; y^{-1}), contenido de agua en el suelo (*SWC*; %), potencial hídrico de las plantas (Ψ_{pd}; -MPa), contenido hídrico relativo en hoja (*CHR*; %), contenido de agua para la saturación (*CAS*; g H_2O g^{-1} *PS*), déficit de agua para la saturación (*DAS; %)* y conductancia estomática (*Gs*; $molH_2O.m^{-2}.s^{-1}$) fueron realizadas mediante el análisis *t* de *student*. El análisis de la relación entre las variables *SWC*, índices del estado hídrico de las hojas (*CHR, CAS* y *DAS*) y potencial hídrico al alba, se realizó mediante correlación de Pearson. Las variables cuya unidad de medida es porcentaje, fueron transformadas utilizando la expresión matemática $Arcoseno\left(\sqrt{variable\ en\ \%\ /100}\right)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento en altura del tallo y diámetro en la base del tallo

Al inicio del experimento (21/11/2019), los brinzales de la especie *Z. thyrsiflora* (48,4±2,4 cm) mostraban valores de altura del tallo superiores (p<0.001; gráfico 1) al de los brinzales de la especie *M. balsamum* (26,4±1,4 cm), mostrando una diferencia de 22,0 cm. Al finalizar el período de cultivo en vivero, 86 días después, los brinzales de *Z. thyrsiflora* superaban en 35,8 cm (p<0,001; Gráfico 1) a los brinzales de la especie *M. balsamum*, siendo los valores de altura del tallo 73,0±3,3 cm y 37,2±1,8 cm respectivamente.

Respecto al diámetro en la base del tallo, *Z. thyrsiflora* mostró valores superiores que *M. balsamum*, tanto al inicio (p<0.001; Gráfico 2) como al final (p<0.001; Gráfico 2) del experimento. En *Z. thyrsiflora*, el diámetro al inicio del experimento fue 6,3±0,3 mm, mientras que al final era 9,6±0,3 mm. En *M. balsamum*, el diámetro fue 5,0±0,2 mm y 6,8±0,2 mm, al inicio y final del experimento respectivamente.

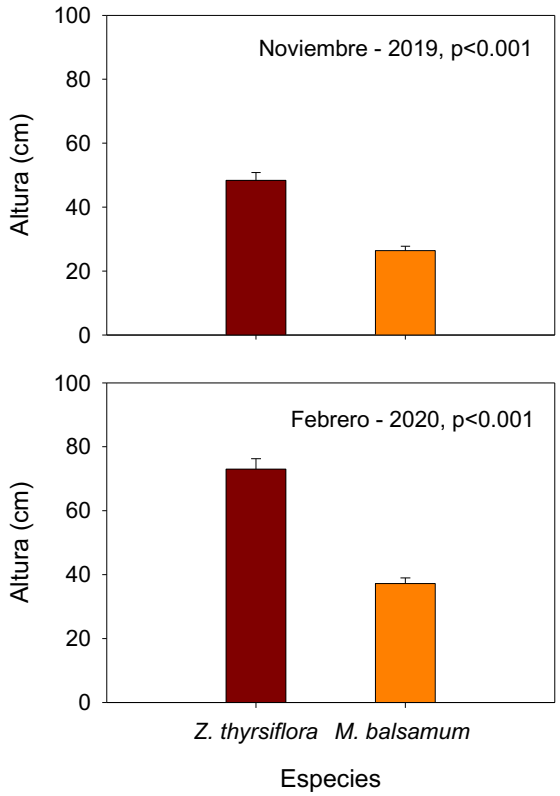


Gráfico 1. Altura del tallo por especies al inicio (Gráfico arriba) y al final del experimento (Gráfico abajo). Resultados análisis *t* de *student*. Media±error estándar; N=15.

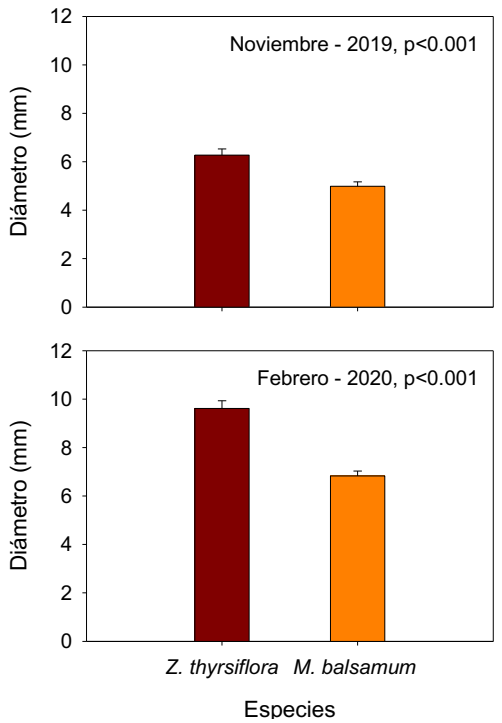


Gráfico 2. Diámetro en la base del tallo por especies al inicio (Gráfico arriba) y al final del experimento (Gráfico abajo). Resultados análisis *t* de *student*. Media±error estándar; N=15.

En un estudio realizado por Pinargote *et al*. (2019) en el cual se evaluó el desarrollo inicial de las especies *Z. thyrsiflora*, *G. spinosa* y *H. chrysanthus,* los resultados indicaron que *Z. thyrsiflora* mostró mayor crecimiento en altura y diámetro que las otras especies, lo cual es consistente con los resultados del presente estudio. Las especies que presentan un rápido crecimiento se clasifican como especies adquisitivas, mientras que aquellas que crecen lentamente se catalogan como especies conservativas (Zuluaga y Roa, 2017). De acuerdo con Montes-Pulido *et al*. (2017), las especies adquisitivas de rápido crecimiento presentan mayor cantidad de biomasa como resultado de una mayor captación de luz solar durante la fotosíntesis. Basándose en estas afirmaciones, se podría señalar que *Z. thyrsiflora* es una especie adquisitiva y *M. balsamun* una especie conservativa. No obstante, para una mayor seguridad en la clasificación (especie conservativa o adquisitiva), se debe abarcar el estudio de la planta en su totalidad (De la Riva *et al*., 2014).

A los tres meses de cultivo en el vivero, no se observaron diferencias entre especies respecto a la tasa de crecimiento relativo (*TCR*) en altura (p>0,05; gráfico 3), siendo en *Z. thyrsiflora* de 0,005±0,000 y^{-1} y en *M. balsamum* de 0,004±0,001 y^{-1}. En cambio, la *TCR* en diámetro de *Z. thyrsiflora* (0,006±0,000 y^{-1}) fue superior (p=0,013; Gráfico 3) a la de *M. balsamum* (0,004±0,001 y^{-1}). Según Villar *et al*. (2008), las especies que tienen mayor *TCR* son más competitivas en ambientes favorables. En el presente estudio la especie que mostró mayor *TCR* en diámetro fue *Z. thyrsiflora,* lo cual significa que incrementó su diámetro en menor tiempo y fue más competitiva que *M. balsamum* al momento de captar y transformar los recursos.

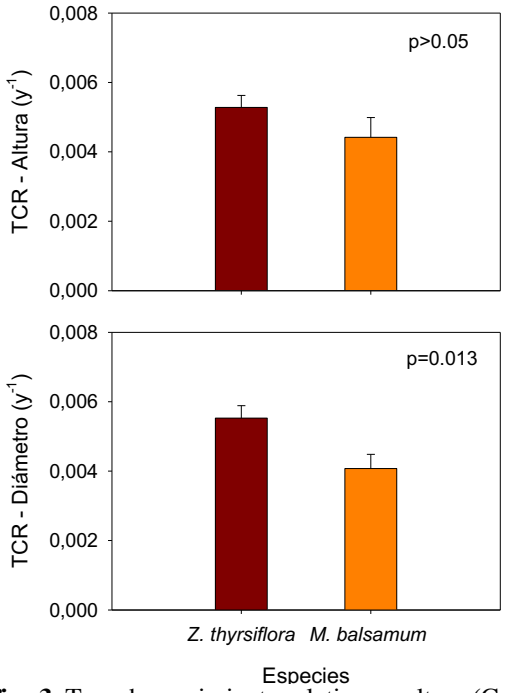


Gráfico 3. Tasa de crecimiento relativo en altura (Gráfico arriba) y en diámetro en la base del tallo (Gráfico abajo). Resultados análisis *t* de *student*. Media±error estándar; N=15.

Crecimiento potencial de raíces

Transcurridos 45 días de iniciada la prueba de crecimiento potencial de raíces, no se observaron diferencias en cuanto a la profundidad máxima de enraizamiento. El sistema radical de ambas especies (*Z. thyrsiflora* y *M. balsamum*) alcanzó 50 cm de profundidad, lo cual era la longitud del tubo de PVC. Las especies de bosques secos desarrollan raíces profundas para sobrevivir a severas sequías (Lars *et al*., 2008). El enraizamiento profundo según Bayar y Deligoz (2016), tiene impactos positivos en las plantas, sobre todo en las especies de bosques secos ya que extraen agua del suelo de capas profundas y con esta estrategia aseguran su supervivencia.

Contenido de agua en el suelo, índices del estado hídrico de las hojas y potencial hídrico de las plantas

En condiciones no limitantes de humedad en el suelo (*SWC*>25%), previo al momento de realizar las mediciones de potencial hídrico al alba, se observó que *Z. thyrsiflora* presentaba menores valores de *SWC* respecto a

M. balsamum (p< 0,001; cuadro 1), a pesar de que en la noche anterior se había realizado un riego con una dosis de 25 mm a ambas especies. No obstante, a las diferencias observadas en *SWC*, no se encontraron diferencias entre especies respecto al *CHR* (%) en hoja (p> 0,05; Cuadro 1). Un resultado similar (promedio *CHR* = 90,2%) fue reportado por Peña-Rojas *et al*. (2018b) en condiciones de alta humedad. Sultana *et al*. (2019) en experimentos sobre salinidad en dos variedades de cultivos de frijol mungo, indicaron que el *CHR* en hoja fue superior en los individuos controles que los individuos sometidos a estrés por salinidad y estrés hídrico. El *CHR* en hoja es utilizado para conocer el estado hídrico de la planta y además indicar el grado de estrés hídrico que soporta en condiciones de sequía (Torres *et al*., 2019). Por lo anteriormente expuesto, se puede señalar que las especies *Z. thyrsiflora* y *M. balsamum* mostraban similar *CHR* en hoja en condiciones de *SWC* > 25%.

Cuadro 1. Contenido de agua en el suelo (*SWC*; %) e índices del estado hídrico de las hojas (*CHR*, *CAS* y *DAS*). Resultados del análisis t de student. Media±error estándar; N=7.

	SWC **(%)**	***CHR*** **(%)**	***CAS*** **(g H_2O g^{-1} *PS*)**	***DAS*** **(%)**
Z. thyrsiflora	27,4±1,6	89,3±1,5	0,27±0,04	10,7±1,5
M. balsamum	43,1±1,3	89,7±0,8	0,14±0,01	10,3±0,8
Valor p	0,001	0,813	0,013	0,813

A pesar de no observarse diferencias en el *CHR* en hoja, en lo que respecta al *CAS* (g H_2O g^{-1} *PS*), *Z. thyrsiflora* duplicaba los valores observados en *M. balsamum* (p= 0,013; Cuadro 1). Este resultado indicó que *Z. thyrsiflora* requeriría mayor cantidad de agua en la hoja para la saturación, lo cual podría ser una desventaja para soportar ambientes áridos o condiciones de estrés hídrico. Por el contrario, *M. balsamum* necesitaría menor cantidad de agua en sus hojas para la saturación. Borjas *et al*. (2015), reportaron que la variedad de olivo (*Olea europaea* L.) Sevillana, al presentar menor *CAS*, tenía mayor capacidad para soportar los ambientes áridos en comparación con la variedad Frantoio, la cual mostraba mayores valores de *CAS*. Especies con menores valores de *CAS* soportarán mejor los ambientes áridos y con mayor estrés hídrico (Bacelar *et al*., 2006). Por otra parte, no se observaron diferencias entre especies respecto al *DAS* (%) (p>0,05; Cuadro 1). Los resultados relacionados con el *DAS* demuestran que ambas especies no presentaron mayor pérdida de agua y, por lo tanto, las hojas no se encontraban deshidratadas en el momento de la medición. Rybka *et al*. (2019) y Mickky *et al*. (2020) indicaron que el valor del *DAS* es útil para determinar el grado de deshidratación de los tejidos de las hojas; por consiguiente, cuando las especies se encuentran sometidas a estrés hídrico, el *DAS* presenta un valor elevado (Tasmina *et al*., 2016).

En condiciones de *SWC* > 25%, el potencial hídrico al alba (Ψ_{pd}) en *Z. thyrsiflora* (-0,74±0,04 MPa) fue menor (p=0,003; gráfico 4) al registrado por *M. balsamum* (-0,52±0,04 MPa). Ritchie *et al*. (2010) consideran que el estrés hídrico es muy bajo cuando el valor de potencial hídrico de la planta (Ψ) se encuentra entre 0,0 a -1,0 MPa, y que el estrés hídrico es moderado cuando los valores de Ψ < -1,0 MPa. A pesar de que ambas especies mostraron valores de Ψ_{pd} en el rango de estrés muy bajo (0,0 a -1,0 MPa), *Z. thyrsiflora* presentó mayor nivel estrés hídrico con respecto a *M. balsamum* (p=0,003¸ gráfico 4). González *et al*. (2011) y Peña-Rojas *et al*. (2018b) señalaron que el potencial hídrico es mayor cuando el *SWC* presenta valores elevados. El resultado observado en la medición de Ψ_{pd} está relacionado con menores valores de *SWC* (p<0.001; Cuadro 1) en el momento de las mediciones en *Z. thyrsiflora* (27,4±1,6%) respecto a *M. balsamum* (43,1±1,3%), a pesar de haberse realizado un riego homogéneo la noche previa a la medición. Esta diferencia en *SWC* puede ser debido a que el riego realizado la noche previa a la medición de Ψ_{pd} no suplió la diferencia existente en la humedad del substrato entre ambas especies. Durante el cultivo de ambas especies en el vivero, se observó que *Z. thyrsiflora* realizaba un consumo de agua superior al de *M. balsamum*, lo cual se evidenciaba en un secado más rápido del substrato en la maceta. Los resultados obtenidos ratificaron la clasificación de *Z. thyrsiflora* como una especie competitiva (Villar *et al*., 2008), por su alta capacidad de captación del recurso agua. La disminución de la disponibilidad hídrica del sustrato tiene un efecto adverso en el estado hídrico de los individuos (Guajardo, 2010).

El rango de *SWC* osciló entre 27,4% en *Z. thyrsiflora* y 43,1% en *M. balsamum*, lo cual pudiera considerarse un valor ligeramente elevado en la última especie. En la sonda theta-probe, las ecuaciones indicadas por el fabricante para determinar el *SWC* se utilizan para suelos orgánicos o suelos inorgánicos. En este experimento se utilizó una mezcla de substrato orgánico (compost de restos vegetales y suelo forestal) con substrato inorgánico (arena de río) en proporción 4:2 kg/kg. Esto pudiera ser la causa de los valores relativamente altos de humedad del substrato. López-Seijas *et al*. (2018) señalaron que las valores de *SWC* medidos mediante la sonda theta-probe dependen de la textura del suelo. Por otra parte, también se han reportado valores de humedad del substrato registrado con la sonda theta-probe entre 29 y 32% antes del riego (Sogamoso, 2020).

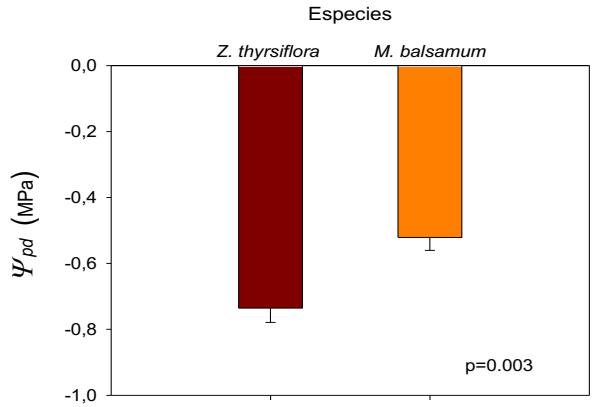


Gráfico 4. Potencial hídrico al alba (Ψ_{pd}). Resultados del análisis *t* de *student*. Media±error estándar; N=7.

Relación entre contenido de agua en el suelo, índices del estado hídrico de las hojas y potencial hídrico de las plantas

En condiciones de *SWC* > 25% y considerando los valores registrados en diferentes variables en ambas especies (*Z. thyrsiflora y M. balsamum*), *SWC* correlacionó positivamente con el Ψ_{pd} y negativamente con el *CAS* (Cuadro 2). Por otra parte, el Ψ_{pd} se correlacionó negativamente con el *CAS*; y el *CHR* en hoja se correlacionó negativamente con el *CAS* y *DAS*. Finalmente, el *CAS* se correlacionó positivamente con el *DAS*. Quintal *et al*. (2012) indicaron que existe una relación directa entre el *SWC* y el potencial hídrico de las plantas, observándose altos valores de Ψ en presencia de altos valores de *SWC*. Sá *et al*. 2017 y Sultana *et al*. 2019 indicaron que entre el *DAS* y el *CHR* en hoja existe una tendencia inversa; la correlación negativa entre estas variables se debe a que son complementarias, es decir ambas suman el 100%. En el presente estudio no se observó una correlación significativa entre el *SWC* y las variables *DAS* y *CHR*, y tampoco entre el Ψ_{pd} y el *DAS*, lo cual puede deberse a que las especies se encontraban en condiciones de humedad del substrato superiores a 25%. Debe tenerse en cuenta que el *DAS* aumenta cuando las especies presentan déficit hídrico (Gietler *et al*., 2016), y esto ocurre cuando los valores de *SWC* son bajos.

Cuadro 2. Correlación de Pearson entre las variables *SWC*, potencial hídrico, índices del estado hídrico de la hoja en las especies *Z. thyrsiflora* y *M. balsamum*.

	Ψ_{pd}	*CHR*	*CAS*	*DAS*
SWC	**0,799****	0.248	**-0,755****	-0.248
Ψ_{pd}	**-**	0.032	**-0,590***	-0.032
CHR		-	**-0,699****	**-1,000****
CAS			**-**	**0,699****

Conductancia estomática

La conductancia estomática fue medida en condiciones de altos valores de *SWC*, 40±1,49% en *Z. thyrsiflora* y 43±1,04% en *M. balsamum*, no observándose diferencias entre las especies (p=0,072) en *SWC*. Bajo estas condiciones, *Z. thyrsiflora* (*Gs* =191,1±23,5 mol$H_20.m^{-2}.s^{-1}$) presentó valores de *Gs* superiores (p=0,002; Gráfico 5) a los registrados por *M. balsamum* (*Gs* = 100,8±12,9 mol$H_20.m^{-2}.s^{-1}$). Un estudio realizado por Peña-Rojas *et al*. (2018a) evaluando la respuesta morfo-fisiológicas de plantas de *Lithraea caustica* (*Anacardiaceae*) sometidas a restricción hídrica controlada, indicaron que cuando el contenido hídrico del substrato se mantuvo sobre el 40%, no se observaron diferencias en cuanto a intercambio gaseoso, y solo se encontraron diferencias cuando el *SWC* fue inferior al 30%.

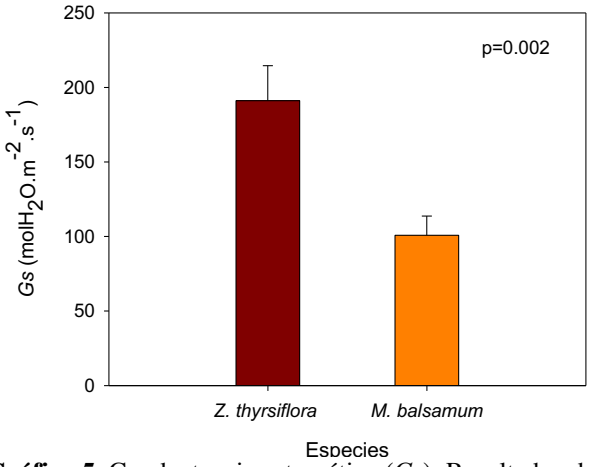


Gráfico 5. Conductancia estomática (*Gs*). Resultados del análisis t de student. Media±error estándar; N=20.

Las relaciones entre la conductancia estomática, potencial hídrico al alba y la resistencia hidráulica de las hojas están relacionados con el papel de las estomas en la regulación del estado hídrico de la planta (González *et al*. 2011). Las plantas isohídricas presentan un fuerte control estomático, reduciendo su transpiración y asimilación del carbono; mientras que las plantas anisohídricas no cierran sus estomas y mantienen altos valores de transpiración sin disminuir su capacidad fotosintética (Hugalde y Vila, 2014; Schmidt, 2017). El comportamiento anisohídrico ha sido asociado a una mejor tolerancia al déficit hídrico prolongado (McDowell, *et al*., 2008). En el presente estudio, la especie *Z. thyrsiflora* mostro mayores valores de conductancia estomática y menores valores de potencial hídrico, lo que indicó que esta especie adoptó una estrategia anisohídrica. En contraste, *M. balsamum* desarrolló una estrategia isohídrica, aun en condiciones de humedad óptima, mostrando un bajo consumo de agua mediante la regulación estomática.

De acuerdo con García y Moreno (2015), la reducción del contenido de agua en el suelo disminuye el potencial hídrico de la hoja y ocasiona el cierre de estomas afectando al intercambio de gases. La relación que existe entre la conductancia estomática y el potencial hídrico de la hoja se debe al estado hídrico de la hoja, por eso se debe tener en cuenta los valores de *SWC* (Gutiérrez-Gamboa *et al.,* 2019). Los resultados de la presente investigación difieren de los resultados reportados en los estudios previos. La especie *M. balsamum*, en condiciones de *SWC* = 43% reguló la apertura de los estomas manteniendo bajos valores de *Gs*; en contraste, *Z. thyrsiflora* en condiciones de *SWC* = 40% mantuvo valores superiores de *Gs*. Estas diferencias en las estrategias de las especies en cuanto a la regulación estomática deben tener un efecto sobre la captación de recursos, la asimilación de carbono y por consiguiente sobre el crecimiento.

CONCLUSIONES

En condiciones de humedad óptima en vivero, las especies *Ziziphus thyrsiflora* y *Myroxylon balsamum* adoptaron estrategias diferentes respecto al crecimiento y uso del agua disponible en el suelo. En cuanto a crecimiento, *Z. thyrsiflora* demostró ser una especie adquisitiva mostrando un mayor crecimiento tanto en altura como en diámetro en la base del tallo en comparación con *M. balsamum,* lo cual se evaluó como una especie conservativa. En condiciones de *SWC* > 25% *Z. thyrsiflora* mostró un mayor consumo de agua del suelo con respecto a *M. balsamum*, lo que se evidenció en mayores valores de conductancia estomática. *Z. thyrsiflora* asumió un comportamiento anisohídrico, manteniendo altos valores de conductancia estomática a pesar de mostrar mayores valores de contenido de agua para la saturación de la hoja y menores valores de potencial hídrico, lo que refleja un cierto nivel de estrés hídrico. En cambio, *M. balsamun* presentó un comportamiento isohídrico, regulando la apertura de sus estomas para conservar la humedad de sus tejidos aún en condiciones de humedad óptima.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la Provincia de Manabí, de la Jefatura de Cooperación de Recursos Forestales y Ambientales (CORFAM), de la Dirección de Gestión Ambiental y del vivero del GAD en Lodana. Esta investigación fue parcialmente financiada por el proyecto "Manejo integral de un paisaje antropogénico para la conservación de biodiversidad, el bioconocimiento y la restauración forestal en Manabí", el cual es realizado por el Grupo de Ecología Funcional de la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM).

LITERATURA CITADA

Abd-El-Rahman, A., Shalaby, A., y Balegh, M. 1966. Water economy of olive under desert conditions. Flora 156: 202-219.

Abrisqueta, V. I. 2010. Balance hídrico y respuesta del melocotonero extratemprano al riego deficitario. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia, España. Recuperado de https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/19787

Aguirre, M., Kvist, L., y Sánchez, O. 2006a. Bosques secos en Ecuador y su diversidad. Botánica Económica de los Andes Centrales, 162-187.

Aguirre, M., Linares-Palomino, R., Kvist, L. 2006b. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. Arnaldoa, 13(2): 324-350.

Aguirre, M. 2012. Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO. Quito, Ecuador.

Aguirre, M. Z., Buri, S. D., Geada, L. G., y Betancourt, F. Y. 2014. Composición florística, estructura y endemismo en una parcela permanente de bosque seco en Zapotillo, provincia de Loja, Ecuador. Arnaldoa, 21(1): 165-178.

Aguirre, M., y Geada-López, G. 2017. Estado de conservación de los bosques secos de la provincia de Loja, Ecuador. Arnaldoa, 24(1): 207- 22.

Ariza, A. W. 2017. Respuestas fisiológicas, bioquímicas y rendimiento en tres variedades de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) en déficit hídrico. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62084

Bacelar, E., Santos, D., Moutinho-Pereira, J., Gonçalves, B., Ferreira, H., y Correia, C. 2006. Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: Changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. Plant Science, 170: 596-605.

Barrios-Díaz, J., Larios-García, M., Castellanos, J., Alcántar-González, G., Tijerina-Chávez, L., y Rodríguez-Mendoza, M. 2006. Efecto del sistema de

riego y tensión de humedad del suelo en rendimiento y calidad del ajo. Terra Latinoamericana, 24(1): 75-81.

Borjas, R., Rebaza, D., y Julca, A. 2015. Contenido hídrico de dos variedades de olivo (*Olea europaea* L.) en el Valle de Cañete, Lima-Perú. Scientia Agropecuaria, 6(3): 147-154.

Bayar, E., y Deligöz, A. 2016. Los efectos de la densidad del semillero sobre la morfología y el potencial de crecimiento de las raíces de las plántulas de espino (*Crataegus monogyna* Jacq.). Revista turca de silvicultura, 17(1): 7-11.

Calle, K., y Proaño, J. 2003. Determinación de la curva de retención de humedad para los principales tipos de suelo de la Península de Santa Elena, Provincia del Guayas (Presentación de paper). X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de http: //www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/7.-Determinacion-Curva.p

Chirino, E., Vilagrosa, C, y Rubio, A. 2004. Efectos de la reducción del riego y la fertilización en las características morfológicas de *Quercus suber*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 17: 51-56.

Chirino, E., Vilagrosa, A., Cortina, J., Valdecantos, A., Fuentes, D., Trubat, R., Luis, V.C., Puértolas, J., Bautista, S., Baeza, J., Peñuelas, J., y Vallejo, V. 2009. Ecological restoration in degraded drylands: The need to improve the seedling quality and site conditions in the field. In: Forest Management (Steven P. Grossberg, Ed.) pp 85-158. Nova Science Publishers. New York, USA. ISBN: 978-1-60692-504-1.

Chirino, E., Ruiz-Yanetti, S., Vilagrosa, A., Mera, X., Espinoza, M., y Lozano, P. 2017. Morpho-functional traits and plant response to drought conditions in seedlings of six native species of Ecuadorian Ecosystems. Flora, 233: 58-67.

Čierniková, M., Vykouková, I., Orfánus, T., y Masarovičová, E. 2021. Functional Traits of Plant Species Suitable for Revegetation of Landfill Waste from Nickel Smelter. Applied Sciences, 11(2): 658.

De la Riva, E. G., Tosto, A., Olmo, M., Pérez-Ramos, I. M., Marañón, T., y Villar, R. 2013. Respuestas funcionales comunidades leñosas mediterráneas bajo diferentes escenarios hídrico. 6to Congreso Forestal Español. España.

De la Riva, E., Pérez-Ramos, L., Navarro-Fernández, C., Olmo, M., Marañón, T., y Villar, R. 2014. Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. Ecosistemas, 23(2): 82-89.

García, L., y Moreno, F. 2015. Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. Acta Agron, 65(1): 44-50.

Gietler, M., Nykiel, M., y Zagdańska, B. M. 2016. Changes in the reduction state of ascorbate and glutathione, protein oxidation and hydrolysis leading to the development of dehydration intolerance in Triticum aestivum L. seedlings. Plant growth regulation, 79(3): 287-297.

González, R. H., Cantú, S. I., Ramírez, L., Gómez, M., Pando, M., y López, H. 2011. Potencial hídrico xilemático en cuatro especies arbustivas nativas del noreste de México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 17: 97-109.

González, R. H., Dueñas, T. H., Cantú, S. I., Cotera, C. M., Ramírez, L. R., y López, H. J. 2018. Relaciones hídricas en arbustos nativos del noreste de México. Revista mexicana de ciencias forestales, 9(50): 121-139.

Guajardo, V. A. 2010. Respuestas ecofisiológicas de plantas de *Lithraea caustica* (Mol.) Hook et Arn. sometidas a restricción hídrica controlada. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151596

Gutiérrez-Gamboa, G., Pérez-Donoso, A., Pou-Mir, A., Acevedo-Opazo, C. y Valdés-Gómez, H. 2019. Hydric behaviour and gas exchange in different grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) from the Maule Valley (Chile). Revista Sudafricana de Enología y Viticultura, 40(2): 3224.

Hugalde, I., y Vila, H. 2014. Comportamiento isohídrico o anisohídrico en vides.... ¿Una controversia sin fin? Revista de Investigaciones Agropecuarias, 40(1): 75-82.

Indacochea, B., Parrales, J., Hernández, A., Castro, C., Vera, M., Zhindon, A., y Gabriel, J. 2017. Evaluación de medios de cultivo in vitro para especies forestales nativas en peligro de extinción en Ecuador. AgronCostarricense, 42(1): 63-89.

Landis, T. D. 1989. Irrigation and water management. In: Landis T. D.; Tinus, R.W.; S. E.; McDonald, S.E.; y Barnett, J. P. The Container Tree Nursey Manual,

Volume 4. Agric. Handbk.674. Washington, DC: U.S, Department of Agriculture, Forest Service: 69-118.

Lars, M., Poorter, L., y Yanguas-Fernández, E. 2008. La disponibilidad hídrica estacional y topográfica en un bosque seco y húmedo tropical y la variación en la morfología de las plántulas arbóreas. Rev. Bol. Ecol. y Cons. Amb. 24: 27-42.

López-Seijas, T., Ustariz, A., Cisnero-Zayas, E., Rodríguez-González, A., Herrera-Puebla, J., y González-Robaina, F. 2018. Calibration of electromagnetic probes for irrigation studies in different agricultural zones. Revista Ingeniería Agrícola, 8(3): 31-39.

Linares-Palomino, R., Kvist, L., Aguirre-Mendoza, Z., y Gonzales-Inca, C. 2009. Diversity and endemism of woody plant species in the Equatorial Pacific seasonally dry forests. Biodiversity and Conservation, 19: 169-185.

Luis-Díaz, V. C. 2009. Calidad de planta de pino canario para reforestación. Métodos de cultivo y respuestas fisiológicas a factores de estrés. Universidad de La Laguna, Servicio de Publicaciones.

Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., y Pinzón-López, L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. Terra Latinoam, 30(4): 343-353.

Maiti, R., Rodríguez, H. G., y Ivanova, N. S. 2016. Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications. John Wiley & Sons.

McDowell, N. G. 2011. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. Plant physiology, 155(3): 1051-1059.

McDowell, N., Pockman, W., Allen, C, Breshears, D. Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D., y Yepez, E. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? New Phytol. 178: 719-739.

Melgarejo, L., Romero, M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M., Suárez, D., Pérez, L., Rojas, A., Cruz, M., Moreno, L., Crespo, S., y Pérez, W. 2010. Experimentos en fisiología vegetal. Departamento de Biología.

Mickky, B., Aldesuquy, H. y Elnajar, M. 2020. Effect of drought on yield of ten wheat cultivars linked with their flag leaf water status, fatty acid profile and shoot vigor at heading. Physiol Mol Biol Plants 26: 1111–1117.

Montes-Pulido, C., Parrado-Rosselli, A., y Álvarez-Dávila, E. 2017. Tipos funcionales de plantas como estimadores de carbono en bosque seco del Caribe colombiano. Revista Mexicana de Biodiversidad, 88: 241-249.

Morales, R. 2013. El estoraque (*Myroxylon balsamum* (L.) Harms). Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias. Jaén, Perú. Recuperado de http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/419

Muñoz, H., García, J., Coria, V., Orozco, G., y Muñoz, Y. 2011. Características morfológicas de plántulas de dos especies forestales tropicales propagadas en contenedores biodegradables y charolas styroblock. Revista mexicana de ciencias forestales, 2(8): 21-34.

Muñoz, H., Sáenz, J., Coria, V., García, J., Hernández, J., y Manzanilla, G. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuro, Michoacán. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(27):72-89.

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Da Fonseca G., y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853–858.

Paladines, R. 2003. Propuesta de conservación del Bosque seco en el Sur de Ecuador. Lyonia, 4(2): 183-186.

Payares-Díaz, I., Mario-Contreras, O. A., Medrano-Vélez, M. A., y Millán-Romero, E. 2014. Germinación y desarrollo de plántulas de *Myroxylon balsamum* (L.) Harms en el Departamento de Sucre. Colombia Forestal, 17(2): 193-201.

Pennington, R., Lewis, G., y Ratter, J. 2006. Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests Plant Diversity, Biogeography, and Conservation. Boca Ratón, FL: Taylor and Francis.

Peña-Rojas, K., Donoso, S., Pacheco, C., Riquelme, A., Rodrigo, G., Guajardo, A., y Duran, S. 2018a. Respuestas morfo-fisiológicas de plantas de *Lithraea caustica* (Anacardiaceae) sometidas a restricción hídrica controlada. Bosque, 39(1): 27-36.

Peña-Rojas, K., Donoso, S., Gangas, R., Durán, S., y Ilabaca, D. 2018b. Efectos de la sequía en las relaciones hídricas, crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Peumus boldus Molina* (*Monimiaceae*) cultivadas en vivero. Interciencia, 43(1): 36-42.

Pinargote, C., Quiñonez, H., Mero, J., Ramos, R., y Cabrera, V. 2019. Desarrollo inicial en plantaciones de *Ziziphus thyrsiflora, Geoffroea spinosa* Jacq *y Handroanthus chrysanthus* Jacq. En Jipijapa, Manabí, Ecuador. UNESUM-Ciencias. Publicación cuatrimestral, 3: 73-84.

Prieto, J., Duarte, A., Goche, J., González, M., y Pulgarín, M. 2018. Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. Revista mexicana de ciencias forestales, 9(47): 151-168.

Quintal, O. W., Pérez-Gutiérrez, A., Latournerie, M. L., May-Lara, C., Ruiz, S. E., y Martínez, C. A. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista fitotecnia mexicana, 35(2): 155-160.

Ritchie, G. A., Landis, T. D., Dumroese, R. K., y Haase, D. L. 2010. Handling and Shipping. Seedling Processing, Storage and Outplantig. Chapter 2 Assessing Plant Quality. The container tree nursery manual, 19-82.

Rybka, K., Janaszek-Mańkowska, M., Siedlarz, P., y Mańkowski, D. 2019. Machine learning in determination of water saturation deficit in wheat leaves on basis of Chl a fluorescence parameter. Photosynthetica, 57(1): 226-230.

Ruscitti, M. 2015. Capítulo 2. El agua en la planta. Cultivo en hidroponía, 34.

Sá, F. D., Gheyi, H. R., Lima, G. D., Paiva, E. D., Fernandes, P. D., Moreira, R. C., Silva, L., y Ferreira, N. 2017. Water relations and gas exchanges of West Indian cherry under salt stress and nitrogen and phosphorus doses. Journal of Agricultural Science, 9(10): 168-177.

Schmidt, C. P. 2017. Efecto de distintos niveles de riego sobre la conductividad hidráulica en vides isohídricas y anisohídricas. Trabajo de Pregrado. Escuela de Pregrado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150999

Sogamoso, H. J. 2020. Estudio preliminar de la respuesta fisiológica del lulo sin espinas (*Solanum quitoense var. quitoense*) expuesto a diferentes niveles de radiación durante la etapa vegetativa en la Sabana de Bogotá. Trabajo de Pregrado. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas Tecnología en Horticultura. Bogotá, Colombia. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10654/35950.

Sultana, M. S., Halim, M., Hossain, F., Karim, M. A., y Hossain, M. T. 2019. Effects of Sodium Chloride Salinity on Water Relations and Ion Accumulation in Two Mungbean Varieties Differing in Salinity Tolerance. Journal of the Asiatic Society of Bangladesh, Science, 45(1): 45-54.

Tasmina, T., Khan, A. R., Karim, A., Akter, N., y Islam, R. 2016. Physiological changes of wheat varieties under water deficit condition. Bangladesh Agronomy Journal, 19(2): 105-114.

Torrente, A. y Rojas, Y. 2011. Determinación del punto óptimo de riego en palma de aceite en la hacienda Ariguanu, Departamento del Cesar. Revista Ingeniería y Región, 8: 1-6.

Torres, I., Sánchez, M. T., Benlloch-González, M., y Pérez-Marín, D. 2019. Soporte de decisiones de riego basado en la determinación del contenido de agua relativa de la hoja en olivar mediante espectroscopia de infrarrojo cercano. Ingeniería de biosistemas, 180: 50-58.

Vilagrosa, A., Chirino, E., Vallejo, V. R., Cortina, J., Rubio, E., Trubat, R., y Gil-Pelegrin, E. 2008. El papel de la ecofisiología en la restauración forestal de ecosistemas mediterráneos. Forest Systems, 14(3): 446-461.

Villar, R., Ruiz-Robleto, J., Quero, J. L., Poorter, H.; Valladares, F. y Marañón, T. 2008. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, 191-227.

Yates, M. L., Andrew, N. R., Binns, M., y Gibb, H. 2014. Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. PeerJ, 2: 271.

Zuluaga, N., y Roa, D. C. 2017. Curvas de crecimiento y análisis de rasgos funcionales de especies arbóreas y arbustivas del área de propagación vivero "La Florida" Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Tesis de Pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá, Colombia. Recuperado de http://hdl.handle.net/11349/6916

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS EN POLLOS DE ENGORDE UTILIZANDO HARINA DE ORÉGANO COMO PROMOTOR DE CRECIMIENTO

PRODUCTIVE CHARACTERISTICS IN BROILERS USING OREGANO FLOUR AS A GROWTH PROMOTER

Juan Tenías Campos[1], Mayra Alfaro Escalona[1], Magalys Rivas Nichorzon[1], Liseth Cárdenas Ramírez[1] y Ramón Silva-Acuña[2]

[1]Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Escuela de Zootecnia, *Campus* Los Guaritos, Maturín, Monagas, Venezuela
[2]Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Postgrado de Agricultura Tropical, *Campus* Juanico, Maturín, Venezuela

E-mail: drramonsilvaa@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
28/06/2021

Aceptado:
02/11/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):107-115

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.283

Resumen

Con el objetivo de evaluar la inclusión de proporciones de harina de hojas de orégano (HHO) en el alimento balanceado comercial (ABC) de pollos de engorde, se cuantificó en fase de inicio y de engorde, el peso corporal (PC), ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA), índice conversión alimenticia (ICA) y mortalidad (MO) en un diseño experimental completamente al azar. Se utilizaron 208 pollitos de la línea Ross distribuidos en cuatro tratamientos: ABC100%: 100% de alimento balanceado; ABC+0,25HHO: Alimento balanceado+0,25% de harina de orégano; ABC+0,50HHO: Alimento balanceado+0,50% de harina de orégano y ABC+0,75HHO: Alimento balanceado+0,75% de harina de orégano, con cuatro repeticiones y 13 aves por unidad experimental. Las variables PC y GDP fueron analizadas por regresión, mientras que CDA, ICA y MO fueron comparadas por estadística descriptiva. El PC logró diferencias significativas al final de las fases de inicio y engorde, siendo el tratamiento ABC+0,25HHO, obteniendo el mejor resultado (773,18 y 2196,11g, respectivamente). La GDP siguió la misma tendencia del PC, donde el tratamiento ABC+0,25HHO mostró el mayor valor, con 35,01 y 67,71g a los 21 y 42 días, respectivamente. Las variables CDA e ICA se vieron favorecidas con la dieta ABC+0,25HHO. No se encontraron diferencias estadísticas para la mortalidad. La adición de 0,25% de harina de hojas de orégano (HHO), como aditivo fitogénico en la dieta de pollos de engorde, tuvo efecto positivo sobre el peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia durante la fase de inicio y engorde.

Palabras clave: Origanum vulgare, aditivo de crecimiento, fitogénico, aves de corral.

Abstract

In order to evaluate the inclusion of proportions of oregano leaf flour (HHO) in the commercial balanced feed (ABC) of broilers, the body weight (CP), daily gain were quantified in the start and fattening phase weight (GDP), daily feed intake (ADC), feed conversion index (ICA) and mortality (OM) in a completely randomized experimental design. 208 chicks of the Ross line were used distributed in four treatments: ABC100%: 100% balanced feed; ABC + 0.25HHO: Balanced feed + 0.25% oregano flour; ABC + 0.50HHO: Balanced feed + 0.50% oregano flour and ABC + 0.75HHO: Balanced feed + 0.75% oregano flour, with four repetitions and 13 birds per experimental unit. The variables PC and GDP were analyzed by regression, while CDA, ICA and MO were compared by descriptive statistics. The CP achieved significant differences at the end of the start-up and fattening phases, being the treatment ABC + 0.25HHO, the one that obtained the best result (773.18 and 2196.11g, respectively). The GDP followed the same trend as the PC, where the treatment ABC + 0.25HHO showed the highest value, with 35.01 and 67.71g at 21 and 42 days, respectively. The variables CDA and ICA were favored with the ABC + 0.25HHO diet. No statistical differences were found for mortality. The addition of 0.25% oregano leaf flour (HHO), as a phytogenic additive in the diet of broilers, had a positive effect on body weight, daily weight gain, feed consumption and feed conversion during the starting and fattening phase.

Keywords: Origanum vulgare, growth additive, phytogenic, poultry.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de carne de pollo representa el 30%. Estados Unidos es el principal productor, con el 26% del total; le continúan, China 17%, Brasil 16%, Unión Europea con 14%, México 4%, India 3%, mientras que Japón, Argentina y Canadá poseen porcentajes similares al 2% (Lara *et al.,* 2009).

El aspecto de mayor importancia en la avicultura es la alimentación. Las aves deben recibir el alimento en cantidad y calidad suficiente que contenga proporciones adecuadas de los nutrimentos necesarios para que obtengan el rendimiento apropiado en carne (Roldán, 2004). En el pasado esos alimentos poseían promotores de crecimiento (APC); la OMS (2017) los define como "sustancias distintas de los nutrimentos de la ración que aumentan el ritmo de crecimiento y mejoran el índice de conversión de los animales sanos y correctamente alimentados". El término promotor del crecimiento se puede aplicar a más de un tipo de sustancia usada en producción animal.

Ávila (1990), describe a los antibióticos como mejoradores de crecimiento, estos productos cuando son aplicados o suministrados a los animales, tienen la capacidad de prevenir el establecimiento de microorganismos patógenos dentro del microbiota intestinal; además, de proporcionar ganancias marcadas en los incrementos de masa, desarrollo y crecimiento muscular. Los promotores de crecimiento como aditivos en el alimento en concentraciones subterapéuticas, aumentan el rendimiento y la productividad de los animales a través del control de bacterias patógenas, inhibiendo su crecimiento o controlándolas, manteniendo sano el tracto digestivo del animal y en consecuencia, mejor aprovechamiento de los nutrimentos contenidos en los alimentos (Lee *et al*., 2003). Por otro lado, Ayala *et al*. (2006), indican que la creciente preocupación de los consumidores sobre el posible traslado de la resistencia antibiótica a los patógenos causantes de enfermedades humanas, ha provocado la prohibición de la mayoría de los antibióticos promotores de crecimiento.

Ortisi (2008), señala que los promotores de crecimiento utilizados en bajas dosificaciones, mejoran la calidad del producto final, traducida en menor proporción de grasa y mayor proporción de proteínas. Otro beneficio de la utilización de estos fármacos en la dieta es el control de patógenos zoonóticos, tales como *Salmonella* sp. , *Campylobacter* sp., *Escherichia coli* y Enterococos, entre otros. Con menos bacterias en el tracto, hay menor producción de toxinas bacterianas; amoníaco, nitratos, aminas, y otros, que producen las bacterias consideradas tóxicas para las células intestinales, también pueden absorberse a la sangre y causar problemas en otras partes del cuerpo (Quintana, 1993).

La industria avícola dejó de usar los antibióticos como promotores de crecimiento para sustituirlos por lo probióticos, enzimas, acidificantes –ácidos orgánicos e inorgánicos– y extractos vegetales (González *et al*., 1999; Carro y Ranilla*,* 2002).

Los extractos vegetales o compuestos fitogénicos poseen ingredientes funcionales con acciones antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladoras (Dewick, 1997; Garcés *et al*., 2009; Díaz, 2015). Los metabolitos secundarios, podrían ser de diversos tipos: alcaloides, polifenoles y terpenoides, responsables de estos efectos beneficiosos (Quintana, 1993). Kokkini *et al.* (1997), definen los fitogénicos como sustancias naturales provenientes de las plantas, que usadas en cantidades terapéuticas ocasionan resultados favorables para los animales, aumentando su capacidad productiva.

Autores como Devriese *et al*. (1993) y Lee *et al*. (2003) reportan el efecto beneficioso con el uso de las combinaciones de harinas de hojas de plantas aromáticas similar a los encontrados en promotores de crecimiento, en razón del eficiente uso de los nutrimentos de la dieta, que se traduce en menor conversión de alimento. Agrega Kamel (2001), que el desarrollo de vellosidades intestinales y el estímulo de la actividad enzimática están directamente involucrados y afectan el consumo de alimento.

Garcés *et al.* (2009), indican diferentes sustancias con actividad antibacteriana, antiparasitaria y antimicótica de algunas plantas, entre ellas el orégano. En cuanto a la composición del orégano, se ha logrado identificar gran cantidad de compuestos y sólo se han encontrado como componentes principales activos a las sustancias fenólicas que alteran la permeabilidad de la membrana celular de bacterias patógenas como las Salmonelas y *Escherichia coli*, responsables de trastornos digestivos en las categorías menores porcinas. De ahí que, la obtención a gran escala, y el empleo en la alimentación resulta de gran interés para la producción animal (Barragán *et al*., 2004).

El uso del orégano en la producción animal es diverso, una de ellas lo constituye la extracción de su aceite esencial, esta forma se ha incrementado considerablemente en los últimos tiempos demostrando la actividad biológica de sus componentes con muy buenos resultados. Recientemente, Campozano-Marcillo *et al*. (2020), evaluaron la inclusión de aceites esenciales de orégano en concentraciones de 100; 200 y 300 $mg.Kg^{-1}$ del alimento balanceado, constatando que la mayor concentración favoreció el peso vivo, la ganancia de peso y la conversión alimenticia de los pollos de engorde.

Por otro lado, Botsoglou *et al.* (2002), recalcan que no solo el aceite constituye una forma eficiente de utilización, las hojas frescas incluidas en la dieta han sido de gran aprobación, debido a que mejora la aceptabilidad de los alimentos con resultados beneficiosos de manera general

en el comportamiento productivo e indicadores de salud de los animales monogástricos. Otra forma de aplicación ha sido la obtención de harina de orégano a partir de hojas secadas y molidas con niveles bajos de inclusión hasta de 1% en la dieta.

Carro y Ranilla (2002), determinaron el comportamiento productivo de pollos de engorde, incluyendo 0; 0,5 y 1% de orégano en su dieta. Los resultados mostraron que no hubo diferencias para el peso vivo (1714, 1690 y 1680g) pero con la inclusión de 0,5% de orégano, el consumo de alimento fue menor que al incluir 1% (3706; 3461 y 3578 $g.ave^{-1}$), mientras que el grupo control presentó mayor conversión (2,15; 2,08 y 2,10), mayor consumo de proteína (648, 601 y 627g) y mayor conversión proteica (0,387; 0,361 y 0,379 $g.g^{-1}$ para 0; 0,5 y 1% de orégano en la dieta, respectivamente). Estos resultados sugieren que es factible incluir en la dieta aditivos fotogénicos como el orégano.

Ayala *et al*. (2006), evaluaron el comportamiento productivo y el rendimiento de la canal en pollos de engorde, con el uso de harina de hojas de plantas aromáticas como aditivo fitoterapéutico al 0,07% en la dieta. A los 21 días de edad, los pollos alimentados con *Origanum vulgare* tuvieron el menor peso corporal y alta conversión alimenticia de los tratamientos durante esta fase ($p \leq 0,05$). El testigo (flavomicina 4%) registró la mayor mortalidad a los mismos días de edad. Al final de la prueba (42 días), el mayor peso corporal lo obtuvo el mismo testigo (flavomicina 4%), pero no presentó diferencia ($p \leq 0,05$) frente los alimentados con *Origanum vulgare* y tuvo la menor conversión de alimento. El uso de estas harinas permite obtener idénticos resultados a los alcanzados con los promotores de crecimiento comerciales; de manera similar, al evaluar proporciones de mezcla del alimento balanceado y orégano seco y molido al 0,5; 1,0 y 1,5%, Pujada *et al*. (2019) constataron que el nivel óptimo de orégano en la dieta fue de 0, 71%.

Tomando como referente los anteriores hallazgos, en este artículo se presenta el resultado de la evaluación del comportamiento productivo de pollos de engorde de la línea Ross, utilizando harina de hojas de orégano (*Origanum vulgare*) en proporciones de mezcla con el alimento balanceado, como promotor de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El ensayo se realizó en una granja comercial ubicada en la localidad de Tácata, municipio Cedeño, estado Monagas. En las coordenadas geográficas 9º 63’ 77” LN y 63º 67’ 13” LO, a la altitud de 124 m, con temperatura promedio de 27ºC, humedad relativa de 63% y precipitación promedio anual de 1298 mm (Climate-Data.org, 2020).

El orégano y su preparación

El material vegetal de orégano, se obtuvo de un Jardín Botánico ubicado en la localidad de Temblador, municipio Libertador, estado Monagas, en las coordenadas geográficas de 9º 00’ 26” LN y 62º 38’ 32” LO. El follaje se cortó con tijeras de podar y tijeras comunes; se secó al sol sobre un plástico negro por 72 horas y posteriormente fue molido en un triturador de granos marca GENPAR, modelo GGG-121-HH, Venezuela, en la regulación fina, con el objetivo de lograr su mezcla homogénea con el alimento balanceado. El orégano molido se almacenó en envases de vidrio sellados.
Entre las especies de *Origanum* se encuentran como componentes principales el limoneno, el b -cariofileno, el r-cimeno, el canfor, el linalol, el a-pineno, el carvacrol y el timol (Arcila-Lozano *et al*., 2004).

Acondicionamiento del galpón para la recepción

Previo a la llegada de los pollitos bebé, para iniciar el ensayo se realizó la limpieza y desinfección del galpón experimental y todos los equipos. Se colocaron cortinas de polietileno alrededor del lugar, para proteger a las aves del frío y viento. Posteriormente se realizaron las respectivas divisiones e identificaciones para los tratamientos, utilizando pisos plásticos para bovinos, de 100 cm de largo por 60 cm de ancho.

Finalmente, se colocó la cama de cascarilla de arroz y se instalaron bebederos que contenían agua más hidratante comercial para disminuir el estrés en la recepción; además, del alimento iniciador en comederos manuales. Se utilizó una criadora a gas Marca Gasolec M8, modelo GA-801351, como fuente de calor durante los primeros días de vida de los pollitos. El consumo de agua fue *ad libitum* durante todo el ensayo, utilizando bebederos manuales.

Manejo sanitario de las aves

A las aves se las recibió vacunadas contra la enfermedad de Marek, desde la planta incubadora. El manejo sanitario preventivo consistió en una serie de medidas aplicadas a diferentes días de edad, a partir de su recepción, que consideraron la aplicación de las vacunas obligatorias de la zona. Entre los 1 y 3 días, recibieron electrolitos en la dosis de $1L.1000mL^{-1}$ de agua; al octavo y 16 día, se les aplicó la primera y segunda dosis, respectivamente, contra New Castle (Cepa La Sota) y Gumboro, mediante aspersión. A los 10 días y entre los 22 y 24 días de edad, se les ofreció tilosina en dosis de $250g.1000mL^{-1}$ de agua. Entre los 11 y 13 días, recibieron polivitamínico en la dosis de $1L.1000mL^{-1}$ de agua y vinagre a razón de $1L.1000mL^{-1}$ a los 21 días de edad.

Variables cuantificadas

El peso corporal (PC), se determinó al término de la fase de inicio (21 días) y engorde (42 días). Todos los pesajes se hicieron a la misma hora (2pm) tomando como muestra

seis de la totalidad de los pollitos presentes en cada unidad experimental. El peso corporal promedio se obtuvo utilizando la ecuación 1.

PC= ∑ Peso de cada ave / N° de aves (1)

La ganancia diaria de peso (GDP), se obtuvo por diferencia entre el peso inicial y el final de la fase de evaluación, dividido por la duración del periodo comprendido. Este valor se registró durante la fase de inicio (21 días) y engorde (42 días), utilizando la ecuación 2.

GDP= (peso promedio final – peso promedio inicial) / N° de días (2)

El porcentaje de mortalidad se determinó por la ecuación 3.

MO (%)= (N° de aves muertas / N° de aves iniciadas) x 100 (3)

El **consumo diario de alimento (CDA),** representa la cantidad del alimento consumido por las aves entre el total de las aves vivas, calculado por la ecuación 4.

CDA= Alimento consumido total (g) / N° de aves (4)

El índice de conversión alimenticia (ICA), expresa la eficiencia del alimento para su transformación en carne, por consiguiente, cuanto más bajo sea este índice, resulta mejor. Oscila entre 1,6 a 1,7 kg de alimento consumido.kg^{-1} de peso producido (Barragán *et al.,* 2004) y determinado por la ecuación 5.

ICA= Alimento consumido por ave (g) / peso del ave (g) (5)

Tratamientos evaluados, diseño experimental y análisis estadístico

Los componentes del alimento balanceado comercial Mersan® (ABC) son los siguientes: fórmula de inicio, energía metabolizable mínimo 3100 Kcal.Kg^{-1}; proteína mínimo 22 %; grasa mínimo 2,5 %; fibra máximo 5%; calcio mínimo 0,95 % y fósforo disponible mínimo 0,35 %, y la de engorde, energía metabolizable mínimo 3300 Kcal.Kg^{-1}; proteína mínimo 19 %; grasa mínimo 6,5 %; fibra máximo 4,5 %; calcio mínimo 0,85 % y fósforo disponible mínimo 0,32 %; y la harina de orégano (HHO). Los tratamientos fueron los siguientes: ABC100%: 100% de alimento balanceado; ABC+0,25HHO: Alimento balanceado+0,25% de harina de orégano; ABC+0,50HHO: 50% de alimento balanceado+0,50% de harina de orégano; y ABC+0,75HHO: 25% de alimento balanceado+0,75% de harina de orégano.

Por kilogramo de la mezcla ABC + HHO, tanto para el alimento iniciador como de engorde, las proporciones de mezclas corresponden a: 997,5+2,5g; 995+5g y 992,5+7,5 g para los tratamientos 2, 3 y 4, respectivamente. Se empleó una balanza digital de precisión Gramera, marca Tanita, para el pesaje de la cantidad de orégano en las diferentes dietas alimenticias y un peso digital portátil de gancho (50 kg), marca Weiheng, para registrar los diferentes pesos de los pollos. El proceso de mezcla del ABC y la HHO se efectuó en un galpón completamente limpio, utilizando una cortina de polietileno desinfectada como base, para luego remover de forma manual los dos componentes, hasta lograr la homogenización total.

Se emplearon 208 pollos de la línea Ross, de un día de edad; distribuidos en cuatro tratamientos de 52, en el diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones de 13, que constituyen la unidad experimental. Para realizar la investigación se utilizó 24 m^2 del área de un galpón de 2250 m^2, siendo la densidad de 13 pollos por m^2.

Previo a realizar el análisis de varianza (ANAVA) de las variables cuantificadas a los 21 días de la fase de inicio y a los 42 días de engorde, referidas a peso corporal, ganancia diaria de peso y mortalidad se exploraron por la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar la normalidad de los errores y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianza. Los resultados de los análisis estadísticos de las variables peso corporal y ganancia diaria de peso fueron interpretados por regresión. Las variables consumo de alimento y conversión alimenticia se analizaron por estadística descriptiva, en virtud de que el valor obtenido proviene de cuantificaciones hechas por volumen total de alimento consumido (kg totales/tratamiento), rutinarias en sistemas industriales de producción. Para ambos análisis se empleó el programa estadístico InfoStat Versión 2018 (Di Rienzo *et al.,* 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso corporal

Los resultados obtenidos para peso corporal a los 21 días de edad muestran diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$). En la Figura 1, se aprecia la tendencia cuadrática obtenida en el análisis de regresión, la cual describe una curva convexa entre los niveles de inclusión de orégano evaluados.

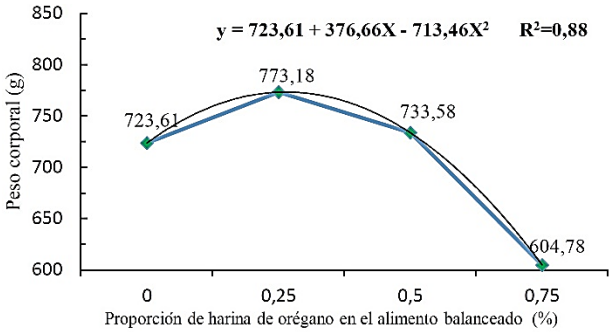


Figura 1. Ecuación de regresión para la variable peso corporal a los 21 días – iniciación–, en función de los niveles de incorporación de harina de orégano.

Entre 0 y 0,25% de inclusión, el peso corporal aumentó de 723,61 a 773,18g, y a partir de 0,25% se observa disminución progresiva de la variable, pasando con 0,50% a 733,58g, hasta llegar con 0,75% de inclusión a 604,78g. El cálculo de punto máximo de la ecuación, estima que al incorporar 0,26% de orégano en la dieta, se lograría el mayor peso corporal del ave, de aproximadamente 733,31g.

Los pesos obtenidos a los 42 días de edad, siguieron la misma tendencia que a los 21 días, donde el tratamiento ABC+0,25HHO; presentó el mayor peso promedio (2196,11 g), con diferencias altamente significativas. De manera similar, la Figura 2 describe una curva convexa entre los niveles de inclusión de orégano evaluados. Entre 0 y 0,25% de inclusión, el peso corporal aumentó en magnitud de 1980,56 a 2196,11g, y a partir de 0,25% se observa disminución progresiva de la variable, pasando con 0,50% a 2076,44g, hasta llegar con 0,75% de inclusión a 1621,56g. El cálculo de punto máximo de la ecuación, estima que al incorporar 0,26% de orégano en la dieta, se lograría el mayor peso corporal del ave, de aproximadamente 2199,49g.

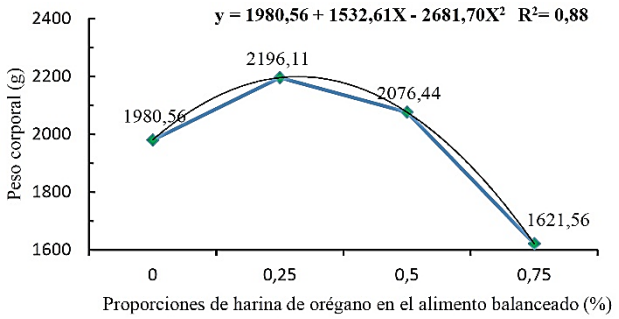


Figura 2. Ecuación de regresión para la variable peso corporal a los 42 días –engorde–, en función de los niveles de incorporación de harina de orégano.

Estos resultados son similares a los reportados con los aceites esenciales de orégano, pues comparten una estructura llamada isopropeno, unidad química de los terpenoides, que derivan en dos fenoles, con propiedades antimicrobianas: Timol y Carvacrol (Ringuelet y Viña, 2013). De acuerdo a la concentración de cada uno de ellos, pueden llegar a disociarse las membranas externas de bacterias *Gram* negativo como *E. coli* y *Salmonella typhimurium,* logrando así mejor absorción de nutrimentos por parte del intestino, repercutiendo positivamente en mayor peso corporal del ave.

Estudios realizados por Lara *et al.* (2010), evaluando el comportamiento productivo en pollos de engorde, con el uso de harina de hojas de plantas aromáticas como aditivo fitoterapéutico al 0,07% en la dieta, encontraron que el grupo control obtuvo el mayor peso corporal (2385 g) a los 42 días. De igual manera, a los 21 días los pollos alimentados con 0,35 g de orégano (*Origanum vulgare*) y 0,35 g de hierba santa (*Piper auritum*) tuvieron el menor peso corporal (395,75 g); sin embargo, concluyeron que el porcentaje de inclusión de harinas fue muy baja y por ende no mostró los resultados esperados.

Ayala *et al*. (2006), utilizando orégano al 0,5 y 1%, no encontraron diferencias significativas para peso corporal a los 42 días de edad, con 1690 y 1680 g respectivamente. Lo que demuestra que con una inclusión intermedia de 0,25% de orégano se pueden lograr resultados satisfactorios.

Ganancia diaria de peso

La ganancia diaria de peso (GDP) tuvo diferencias altamente significativas a los 21 días de edad. En la Figura 3, se aprecia la tendencia cuadrática obtenida en el análisis de regresión, la cual describe una curva convexa entre los niveles de inclusión de orégano evaluados. Entre 0 y 0,25% de inclusión, la GDP aumentó en magnitud de 32,59 a 35,01g, y a partir de 0,25% se observa disminución progresiva de la variable, pasando con 0,50% a 33,11g, hasta llegar con 0,75% de inclusión a 26,88g. El cálculo de punto máximo de la ecuación, estima que al incorporar 0,26% de orégano en la dieta, se lograría la mayor GDP del ave, de aproximadamente 35,01g.

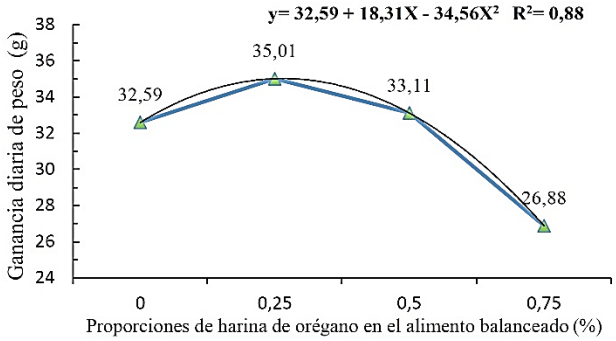


Figura 3. Ecuación de regresión para la variable ganancia diaria de peso a los 21 días –iniciación–, en función de los niveles de incorporación de harina de orégano.

De igual manera, en la Figura 4, se aprecia que al término de la fase de engorde (42 días), existe mayor GDP en el en el tratamiento ABC+0,25HHO (67,71 g), con diferencias altamente significativas. Seguidos de los tratamientos ABC+0,50HHO y ABC100%; comportándose estadísticamente similar (63,91 y 59,84 g, respectivamente); mientras que el tratamiento ABC+0,75HHO obtuvo las menores ganancias con 48,43 g al día. El punto máximo de inclusión de orégano, en este caso es de 0,29%, con ganancias máximas de 67,89 g.

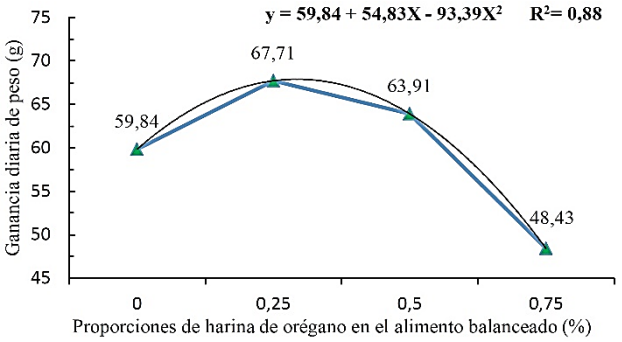


Figura 4. Ecuación de regresión para la variable ganancia diaria de peso a los 42 días –engorde– en función de los niveles de incorporación de harina de orégano.

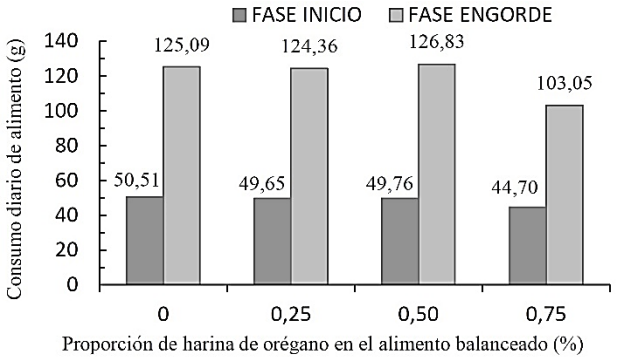


Figura 5. Histograma del consumo diario de alimento al término de la fase de inicio –21 días– y engorde –42 días–.

Estos altos valores en el tratamiento ABC+0,25HHO) se dieron seguramente por el efecto beneficioso que tienen los componentes del orégano sobre el principal órgano de absorción de nutrimentos, el intestino delgado. El tratamiento ABC+0,75HHO, a pesar de contener mayor cantidad de orégano, logró bajos resultados, debido al poco consumo de alimento por parte de las aves.

Hernández *et al*. (2004) obtuvieron diferencias entre las ganancias diarias de pesos favorables a los extractos de salvia (*Salvia officinalis*) y de orégano (*Origanum vulgare*), con respecto al control a los 21 días de edad; sin embargo, a los 42 días no se encontraron diferencias, pero si fueron ganancias mayores (83 g promedio) al presente estudio. Esto parece indicar que los componentes activos de estos aceites que se extrajeron de las plantas ejercen mayor efecto como promotores del crecimiento en pollos de engorde. En el estudio realizado por Chang *et al*. (2017), utilizando orégano en polvo sobre el rendimiento de crecimiento en pollos de engorde, no se encontraron diferencias significativas para la variable ganancia diaria de peso a los 21 días de edad. No obstante, a los 42 días las aves alimentadas con 150 $mg.kg^{-1}$ de orégano en la dieta, obtuvieron mayor ganancia (59,47 $g.día^{-1}$) cuando comparados con el control (54,85 $g.día^{-1}$).

Consumo diario de alimento

En la figura 5, se aprecia numéricamente un menor consumo diario de alimento (CDA) en el tratamiento ABC+0,75HHO (44,70 g), seguidos del tratamiento ABC+0,25HHO (49,65 g), ABC+0,50HHO (49,76 g) y ABC100% (50,51 g) a los 21 de edad. De igual manera, en la fase de engorde (22-42 días) el menor consumo fue para el tratamiento ABC+0,75HHO con 103,05 g, comparado con los tratamientos ABC+0,25HHO, ABC100% y ABC+0,50HHO, que obtuvieron un consumo diario de alimento (C) de 124,36, 125,09 y 126,83 g, respectivamente.

Ayala *et al*. (2006), encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para el consumo diario de alimento a los 42 días, entre el tratamiento control y el de los pollos que recibieron orégano. El menor consumo se obtuvo con la inclusión de 0,5% de orégano, mientras que el más alto correspondió al control. Esto quizás se deba por la presencia de metabolitos secundarios como los flavonoides, derivados fenólicos del tipo de los terpenos y sesquiterpenos presentes en el orégano. También podría atribuirse esta restricción de consumo, al cambio sensorial que genera el orégano en la dieta (Windisch *et al*., 2008; Ordoñez *et al*., 2018).

Pinchasov y Jensen (1989), Mchan y Shotts (1992) y Eidelsburger y Kirchgessner (1994) plantearon que la inclusión de niveles inferiores a 1% de sustancias promotoras de crecimiento en aves, apenas tienen efecto en el consumo, mientras que niveles superiores e iguales de 1% si reducen la ingestión de alimento, tal como ocurrió en el presente estudio.

Índice de conversión alimenticia

En la Figura 6, se aprecia que el índice de conversión alimenticia (ICA) fue mejor numéricamente para el tratamiento ABC+0,25HHO a los 21 (1,31 Ca) y 42 (1,53 Ca) días de edad, comparado con los tratamientos ABC100%, ABC+0,50HHO y ABC+0,75HHO, que se comportaron similares al término de las dos fases. Estos valores bajos de conversión alimenticia obtenidos con la inclusión de 0,25% de orégano en la dieta, se relacionan a que, con este nivel de incorporación, se logró el peso más elevado en cada una de las fases.

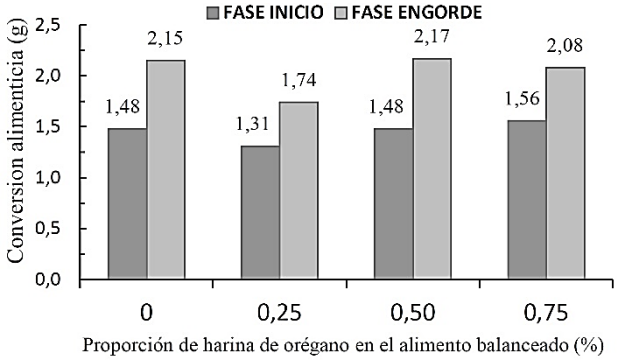


Figura 6. Histograma para la conversión alimenticia al término de la fase de inicio –21 días– y engorde –42 días–

Karimi *et al*. (2010), no encontraron diferencias significativas para conversión alimenticia a los 18 días de edad en pollos de engorde que contenían en la dieta diferentes cantidades (2,5; 5; 10 y 20 $g.kg^{-1}$ alimento) de orégano contra el control. Los datos que obtuvieron oscilan entre 1,37 y 1,4; siendo la dieta con 5 $g.kg^{-1}$ alimento (0,5%) de orégano el menor valor numéricamente. Puvaca *et al*. (2014), tampoco encontraron diferencias significativas al comparar distintas hierbas de especias (*Allium sativum* L, *Piper nigrum* L y *Capsicum annuum* L) con el control sobre la conversión alimenticia en pollos de engorde a los 42 días de dad, que varío entre 1,8 y 2,1.

Mortalidad

No se encontró diferencias estadísticamente significativas para la variable mortalidad en ninguno de los tratamientos; no obstante, en la Figura 7, se observa numéricamente la mayor mortalidad estuvo asociada en los tratamientos ABC100% y ABC+0,50HHO con 5,77%, seguido de los tratamientos ABC+0,25HHO con 3,85% y la menor mortalidad ocurrió en el tratamiento ABC+0,75HHO con 1,92%. La mayoría los valores encontrados se ubican por encima del indicador utilizado comúnmente para evaluar la mortalidad en pollos de engorde el cual se establece en 3%.

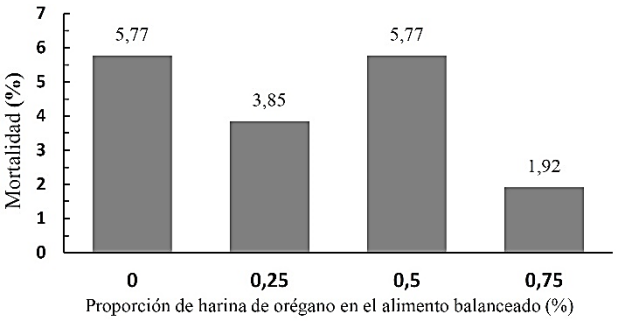


Figura 7. Histograma para el porcentaje de mortalidad en los tratamientos con la inclusión de harina de orégano en el alimento balanceado.

A diferencia del resto de las variables cuantificadas, donde existe una condición favorable asociada a la dieta con 0,25% de HHO y un detrimento del rendimiento en dosis superiores de este aditivo (0,5 y 0,75% de HHO), la mortalidad no muestra tendencia definida y la disparidad de los valores pudiese estar vinculada a efectos climáticos de estrés calórico (Álvarez, 2012; Corona, 2012).

CONCLUSIONES

La adición entre de 0,25 y 0,26% de harina de hojas de orégano (HHO), como aditivo fitogénico en la dieta de pollos de engorde, tuvo efecto positivo sobre el peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia.

El tratamiento con 0,75% de HHO en la dieta, expresó el menor consumo diario de alimento y ganancia diaria de peso con valores de 44,70g y 26,88g en la fase de inicio y 103,05g y 48,43g en la fase de engorde, respectivamente.

LITERATURA CITADA

Álvarez J. 2012. Manejo para disminuir la mortalidad en pollos de engorde. Rev. Cub. Cie. Agri. 2(1):125-132.

Arcila-Lozano, C. C., Loarca-Piña, G., Lecona-Uribe S., González de Mejía, E. 2004. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(1):100-111.

Ávila G. 1990. Alimentación de las aves. Trillas, Ciudad de México, México, pp. 17-18.

Ayala L, Martínez L, Acosta A, Dieppa O, Hernández L. 2006. Una nota acerca del efecto del orégano como aditivo en el comportamiento productivo de pollos de ceba. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 40(4):455-458.

Barragán J, Cepero R, Zalduendo D, Losa R. 2004. Evaluación de la eficacia zootécnica en cebo de broilers de un aditivo basado en aceites esenciales. XLI Symposium Científico de Avicultura. Barcelona, España, pp. 171-179.

Botsoglou N, Paneri P, Christaki E, Fletouri D, Spais A. 2002. Effect of dietary oregano essential oil on performance of chickens and on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues. Br. Poult. Sci. 43(1):223-230.

Carro M, Ranilla M. 2002. Los aditivos antibióticos promotores del crecimiento de los animales. Situación actual y posibles alternativas. Departamento de Producción Animal. España. Disponible en línea en: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/01-

aditivos_antibioticos_promotores.pdf (Acceso 18.02.2020).

Corona L, J. L. 2012. Impacto del estrés calórico en la producción de pollos de engorde de Venezuela. Rev. Electron. Vet. 13(6):1-9.

Campozano-Marcillo G, Hurtado E, Arteaga Ch, Pérez-Bello A, García-Díaz J, Garzón-Jarrin R. 2020. Aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L*) y sexo como factores en la respuesta productiva en pollos de engorde. Rev. prod. anim., 33(1):

Chang S, Xian R, Myong H, Jing W, Hai J, Shu G, Bontempo V, Guang H. 2017. Effect of dietary oregano powder supplementation on the growth performance, antioxidant status and meat quality of broiler chicks. Ital. J. Anim. Sci. 16(2):246-252.

CLIMATE-DATA.ORG. 2020. Datos climáticos mundiales (en línea). Consultado 10 ene. 2021 Disponible en:https://es.climate-data.org/

Devriese L, Daube G, Hommez J, Haesebrouck F. 1993. In vitro susceptibility of Clostridium perfringens isolated from farm animals to growth enhancing antibiotics. Journal of Applied Bacteriology, 75(1): 55-57 1993.

Dewick P. 1997. Medicinal natural products. A biosyntetic approach. John Wiley & Sons, Texas, Estados Unidos, pp. 152-213.

Díaz S. 2015. Botanical alternatives to antibiotics for use in organic poultry production. Poult. Sci. 94(2):1419-1430.

Di Rienzo J, Balzarini M, González L, Casanoves F, Tablada M, Robledo C. 2011. InfoStat Software Estadístico. InfoStat Group, College of Agricultural Sciences, National University of Córdoba: Argentina. Disponible en línea en: http://www.infostat.com.ar/ (Acceso 14.02.2020).

Eidelsburger U, and Kirchgessner M. 1994. Effects of organic acids and salts in the feed on fattening performance of broilers. Arch. Geflugelk. 58:268-267.

Garcés C, Soler M, Barragán J. 2009. ¿Ejercen los extractos vegetales un efecto positivo sobre Broilers enfermos? Albéitar. España. Disponible en línea en: http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/8911/articulos-nutricion-archivo/ejercen-los-extractos-vegetales-un-efecto-positivo-sobre-broilers-enfermos.html (Acceso 19.02.2020).

González G, Salado S, García M. 1999. Uso de aditivos como mejoradores de la calidad de las dietas para monogástricos: enzimas y acidificantes. Encuentro sobre Nutrición y Producción de Animales Monogástricos: Memorias. Maracay, Venezuela, pp. 6-11.

Hernández F, Madrid J, García V, Orenjo J, Megías M. 2004. Influencia de tres extractos de plantas en el rendimiento de los pollos de engorde, digestibilidad y tamaño del órgano digestivo. Poult. Sci. 83(2):169-174.

Kamel C. 2001. Tracing modes of action and the roles of plant extracts in non-ruminants. Recent advances in animal nutrition. John Wiley & Sons, Texas, Estados Unidos, pp: 135-150.

Karimi A, Yan F, Coto C, Park J, Min Y, Lu C, Gidden J, Lay J, Waldroup P. 2010. Effects of level and source of oregano leaf in starter diets for broiler chicks. J. Appl. Poult. Res. 19:137-145.

Kokkini S, Karousou R, Dardioti A, Krigas N, Lanaras T. 1997. Aceites esenciales de otoño de orégano griego. Phytochem. 44(5): 883-886.

Lara C, Márquez E, Martín R, Martín M, Navarro S. 2009. El Pollo Campero. España. Disponible en línea en: http://www.uclm.es/profesorado/produccionanimal/ProduccionAnimalII (Acceso 15.03.2020).

Lara P, Itzá M, Aguilar E, Sanginés J. 2010. Harinas de hojas de plantas aromáticas como fitoterapéuticos en pollos de engorda. Pesq. Agropec. Bras. 45(3):294-298.

Lee K, Everts H, Kappert H, Yeom K, Beynen A. 2003. Dietary carvacrol lowers body weight gain but improves feed conversion in female broiler chickens. J. Appl. Poult. Res. 12(1):394-399.

Mchan F, Shotts E. 1992. Relationship of fatty acid production and lowered ph on the recovery of salmonella typhimurium in chicks fed selected carbohydrate. Poult. Sci. 71:80-86.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2017. Lista OMS de antimicrobianos de importancia crítica para la medicina humana (Lista OMS de AIC) Disponible en línea en: https://www.who.int/foodsafety/publications/cia2017es.pdf (Acceso 11.05.2020).

Ordoñez R, E. M., Del Carpio R, P. A., Cayo C, I. S. 2018. Suplementación alimenticia con orégano (*Origanum vulgare*) y complejo enzimático en pollos de carne: I. Indicadores Productivos. UCV - HACER: Revista de Investigación y Cultura, 7(1): 31-44.

Ortisi F. 2008. Breve revisión sobre promotores de crecimiento. Costa Rica. Disponible en línea en: http://docplayer.es/342832-Breve-revision-sobre-

promotores-de-crecimiento.html (Acceso 15.04.2020).

Pinchasov Y, Jensen L. 1989. Effect of short-chain fatty acids on voluntary feed of broilers chicks. Poul. Sci. 68(12):1612-1618.

Pujada A, Vega-Vilca1 J, Velásquez V, Palacios-Rodríguez B. 2019. Niveles de orégano (*Origanum vulgare*) en la dieta y su influencia en el rendimiento productivo del pollo de engorde. Rev Inv. Vet Perú, 30(3): 1077-1082. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i3.16599

Puvaca N, Luka D, Stanacev V, Kostadinovic L, Beukovic M, Ljuboyevic D, Zec S. 2014. Effect of spice herbs in broiler chicken nutrition on productive performances. XVI International Symposium "Feed Technology".

Quintana P. 1993. Propiedades curativas del orégano (*Origanum vulgare*). Ibalpe, Bogotá, Colombia, pp. 14-18.

Roldán G. 2004. Manual de Explotación de Aves de corral. Grupo Latino, Bogotá, Colombia, pp. 65.

Ringuelet J, Viña S. 2013. Productos Naturales y Vegetales. 1° Edición. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Editorial de la Universidad de La Plata, La Plata, Argentina. 258p

Windisch, W. M., K. Schedle, C. Plitzner, and A. Kroismayr. 2008. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. J. Anim. Sci., 86: 140-148.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

HARINA DE CEFALOTÓRAX DE CAMARÓN EN DIETAS DE POLLOS BROILER COBB-500 EN ETAPA INICIAL

SHRIMP CEPHALOTHORAX FLOUR IN BROILER COBB-500 CHICKEN DIETS IN INITIAL STAGE

María Celina Santos Falconez[2], Diana Carolina Cedeño Alcívar[1], Lenin Antonio Vera Macías[1]

[1]Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Km 2.7 Vía Calceta-El Limón
[2]Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeraldas – Ecuador
Email: dcedeno@espam.edu.ec

Información del articulo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
07/09/2021

Aceptado:
17/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 3.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):116-123

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.245

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la harina de cefalotórax de camarón sobre el comportamiento productivo en pollos broiler Cobb-500 en etapa inicial. Se empleó cefalotórax de camarón para obtener harina con una extracción del 37%, tamaño de partícula de 1,5-3 mm y negativa para *Salmonella*. A los tratamientos (inclusión de 38, 40 y 42%) de harina de cefalotórax de camarón se le realizó análisis proximal: humedad, fibra, cenizas y proteína. El ensayo biológico se realizó con 45 pollos Broiler Cobb-500, con un día de nacidos, alimentados durante 10 días con los cuatro tratamientos con los niveles de inclusión de harina de cefalotórax de camarón. Se evaluó experimentalmente la conversión alimenticia mediante la ecuación factor de conversión= alimento consumido, en g/ peso pollo vivo, en g. El contenido de humedad (13%), proteína (20%) estuvieron dentro del límite permitido, el contenido de cenizas (5%) y fibra (8%) superaron el límite máximo permitido. El recuento de UFC/g de mesófilos aerobios no superó los límites permitidos (1,2 x 10^3) UFC/g de acuerdo con la normativa ecuatoriana. Los tratamientos (inclusión de 38, 40 y 42%) tuvieron efecto sobre la conversión alimenticia de las aves con valores de 1,81; 1,82 y 1,83, respectivamente. Se concluye que la inclusión del 38% de harina de cefalotórax de camarón influye eficientemente en el comportamiento productivo de los pollos broiler Cobb-500.

Palabras clave: Exoesqueleto, inclusión, proteína, alimento balanceado y conversión alimenticia.

Abstract

The objective of this research was to determine the effect of shrimp cephalothorax meal on the productive performance in early stage Cobb-500 broiler chickens. Shrimp cephalothorax was used to obtain flour with an extraction of 37%, particle size of 1.5-3 mm and negative for Salmonella. The treatments (inclusion of 38, 40 and 42%) of shrimp cephalothorax flour underwent proximal analysis: moisture, fiber, ash and protein. The biological test was carried out with 45 Broiler Cobb-500 chickens, one day old, fed for 10 days with the four treatments with the inclusion levels of shrimp cephalothorax meal. The feed conversion was evaluated experimentally by means of the equation conversion factor = consumed feed, in g / weight live chicken, in g. The moisture content (13%), protein (20%) were within the allowed limit, the ash content (5%) and fiber (8%) exceeded the maximum allowed limit. The count of CFU / g of aerobic mesophiles did not exceed the allowed limits (1.2 x 103) CFU / g according to the Ecuadorian regulations. The treatments (inclusion of 38, 40 and 42%) had an effect on the feed conversion of the birds with values of 1.81; 1.82 and 1.83, respectively. It is concluded that the inclusion of 38% of shrimp cephalothorax flour efficiently influences the productive behavior of Cobb-500 broiler chickens.

Keywords: Exoskeleton, Inclusion, Protein, Feed and Feed Conversion.

INTRODUCCIÓN

El camarón es uno de los tipos de mariscos más importantes del mundo, representando el 15% del valor de todos los productos pesqueros comercializados a nivel mundial (Mirzah *et al*., 2020). La producción mundial de camarón es de alrededor de seis millones de toneladas

anuales; y aproximadamente el 60% de esta cantidad es colocada en el mercado mundial. La cola del camarón es la parte con utilidad comercial real, en contraparte la cabeza carece de valor económico, representando el cefalotórax entre un 30-48% del peso total (Salas *et al*., 2015), la cual es eliminada y descartada como desechos sólidos (Gao *et al*. 2016), lo que genera grandes cantidades de residuos sólidos considerados una fuente potencial de contaminación ambiental, debido a que se descomponen rápidamente en sustancias inorgánicas de difícil degradación (Colindres *et al.,* 2015), provocando malos olores, atracción de vectores y enfermedades (González y Moreno, 2018). Además, estos residuos originan costos adicionales y reducen la rentabilidad del sistema de producción (Fernandes *et al*., 2013). En Ecuador, el camarón procesado genera el 40% de residuos del peso total, estos residuos son desechados en altamar, puertos marítimos, vertederos de basura, ríos y/o esteros cercanos (Arteaga y Chávez, 2009; Ochoa, 2014). Actualmente el interés de utilizar los recursos naturales de manera beneficiosa para la humanidad, lleva a realizar diversas investigaciones con la posibilidad de aprovechar los desechos de la industria pesquera considerados contaminantes (Pérez *et al*., 2018).

La harina de residuos de camarón es una opción económicamente recomendable en alimentos formulados para diferentes especies animales, ya que ofrecen atractivas ventajas como: costos bajos para su obtención y transformación a harina; perfil de aminoácidos comparable con la harina de soya o de pescado; contiene una amplia variedad de estimulantes de alimentación o quimio-atractantes; fuente natural de pigmentos, carotenoides y quitina que no son fuente directa de alimentos para el hombre (Espinosa *et al*., 2015); y pueden ser usados para la obtención de ingredientes de alta calidad nutricia en alimentos, e incluso, para mejorar la composición química de los productos para consumo humano (Toyes, 2016).

Estudios realizados por Salas *et al*. (2015), Chacón *et al*. (2016) y Cayambe (2016) demostraron que la harina de cefalotórax de camarón puede emplearse en la alimentación de especies animales, incluyendo gallinas ponedoras, aves de engorde, conejos y cuyes, entre otras, este alimento es fuente excelente de proteínas (45%), minerales (35%), quitina (14-30%) y pigmentos carotenoides (Sowmya *et al*., 2011). Las dietas de pollos de engorde pueden contener harina de camarón hasta en un 50% en las dietas de inicio y finalización (Mounica *et al*., 2029). Estudios realizados por Salas *et al*., (2015); Chacón *et al*. (2016) demostraron que, con la inclusión del 5, 10 y 15% de harina de camarón generó mejoras en la conversión alimenticia de las aves.

Las consideraciones analizadas permiten fundamentar este estudio, cuyo objetivo fue determinar el efecto de la harina de cefalotórax de camarón sobre el comportamiento productivo de pollos broiler Cobb-500 en etapa inicial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La materia prima para la elaboración de la harina fue receptada en la camaronera DUFER ubicada en el km 8 vía Chone-Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador. La elaboración de la harina se realizó en una planta harinera localizada en el cantón Montecristi, provincia de Manabí.

Los análisis bromatológicos y microbiológicos de la harina se efectuaron en los laboratorios de bromatología y microbiología de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López [ESPAM MFL], ubicada en la parroquia Calceta, provincia de Manabí. El ensayo biológico con los pollos broiler Cobb-500 tuvo lugar en el sector El Limón, ubicado en la parroquia Picoazá del cantón Portoviejo, Manabí.

Proceso de elaboración de la harina de cefalotórax de camarón

El cefalotórax de camarón se receptó en una bandeja plástica (40 x 60 x 25 cm), donde se recolectó 40 kg de materia prima con una humedad inicial de 70%. Posteriormente, la materia prima se trasladó hacia la planta de procesamiento mediante la utilización de cuatro coolers (50 x 30 x 30 cm) con hielo seco para mantener la temperatura de transporte menor a 4 °C. A su llegada el material fresco fue depositado inmediatamente en una bandeja plástica para ser lavado con agua potable.

Luego, para reducir la humedad hasta el 40%, el cefalotórax de camarón fue secado al aire en una superficie plástica (1 x 2 m), a una temperatura de 29 °C, durante 48 horas. Finalizado el presecado fue sometido al secado por conducción en un tambor rotatorio (Effort, China) que operó a una temperatura de 80°C durante dos horas. Como resultado de este proceso se obtuvo un producto seco con una humedad promedio del 7% a una temperatura entre 38-40°C.

Posterior al secado, se realizó la molienda en un molino de martillo semiautomático (Effort, China) durante 40 minutos para obtener partículas entre 1,5-3 mm de diámetro usando un juego de tamices enumerados del 10 (2.000 Micron), 35 (500 micras), 60 (250 micrones), 120 (125 micrones), según el tamaño de partículas que deben cumplir las normas para alimentos de pollos broiler en etapa inicial, lo anteriormente mencionado es de acuerdo con lo establecido por Selecciones Avícolas (2017) y Arbor Acres (2018).

El material molido fue almacenado en sacos de polietileno, recolectándose 20,60 kg de harina de cefalotórax de camarón, para un rendimiento aproximado del 36,67%. Esto concuerda con los rendimientos obtenidos por (Velasco *et al*., 2019), quienes mencionan

que el rendimiento de los subproductos del camarón oscila entre 35 y 45% sobre el peso total del camarón.

Formulaciones de los tratamientos con inclusión de harina de cefalotórax de camarón

Los tratamientos consistieron en tres niveles de inclusión de la harina de camarón en la dieta, a razón de 38, 40, 42%. Las dietas fueron formuladas de acuerdo con los requerimientos nutricionales proteicos para pollos de engorde en etapa inicial, el cual se encuentra entre el 18-20% (Cuadro 1), esto de acuerdo con lo establecido por SOLLA S.A (2017). La inclusión de esta materia prima se trabajó como fuente de proteína ideal.

Cuadro 1. Formulaciones de las dietas experimentales usadas para alimentar los pollos broiler Cobb-500 en etapa inicial.

Ingredientes (%)	T1	T2	T3
Maíz	62	60	58
Harina de cefalotórax de camarón	38	40	42
Total	100	100	100

La caracterización bromatológica de la harina y los tratamientos se realizó mediante análisis de humedad, fibra, cenizas y proteína, así mismo se efectuó recuento en placa de mesófilos aerobios y presencia de Salmonella, estas evaluaciones se realizaron de acuerdo con los procedimientos descritos por la NTE INEN 1829 (2014).

Ensayo biológico con pollos Broiler Cobb-500

Para el ensayo se utilizaron 45 pollos Broiler Cobb-500, con una edad de un día de nacidos, los cuales fueron vacunados con NC-Bron por vía ocular contra las enfermedades de Newcastle y bronquitis infecciosa. Los pollos fueron adquiridos en genética nacional, Ecuador. Los pollos se mantuvieron en un galpón de 3 x 4 m, con paredes de caña y techo con hojas de zinc, esto se realizó de acuerdo con lo experimentado por (González, 2010).

En el día uno los pollos fueron hidratados con agua más electrolito (nutr avan) para pollos en etapa preinicial agregando 2,5 g del producto por cada dos litros de agua, esto según recomendaciones del fabricante del producto, desde el día dos hasta el 10 las aves fueron alimentadas con las dietas formuladas de cada tratamiento (inclusiones de 38, 40 y 42%) de harina de cefalotórax de camarón. Los tratamientos contaron con cinco repeticiones asignadas completamente al azar. El experimento se realizó durante diez días y la variable estudiada fue: conversión alimenticia.

La conversión alimenticia se evaluó con la siguiente ecuación: (Durán, 2004):

$$Fc = \frac{AC}{PPV} \quad \textbf{(1)}$$

En dónde:

$Fc = Factor\ de\ conversión\ alimenticia$
$AC = Alimento\ consumido, en\ g$
$PPV = Peso\ del\ pollo\ vivo, en\ g$

El análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en el ensayo se realizó por medio de un diseño completamente al azar, utilizando un nivel de confianza del 95%. Se aplicó la prueba de Tukey con el fin de determinar el grado de diferencia entre los tratamientos. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software estadístico Infostat versión 2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización bromatológica y análisis microbiológicos de los tratamientos

El contenido de proteína cruda de la harina de cefalotórax de camarón (Cuadro 2) fue similar al registrado por Civera *et al*. (1996) para la harina de cefalotórax de camarón y se aproxima a otros residuos pesqueros utilizados en alimentación de pollos: *P. planipes*, *P. monodon* y *L. vannamei* (Carranco *et al*., 2011; Rahman y Koh, 2016). La harina de cefalotórax de camarón aportaría la suficiente cantidad de proteína para satisfacer las necesidades de producción para pollos en etapa inicial, que rondan entre 18-20% (SOLLA S.A, 2017).

En cuanto a la composición de la fibra, la harina de cefalotórax de camarón es mayor que la harina de pescado, sin embargo, la harina de pescado tiene mayor costo representando hasta el 50% de éste (Civera *et al*., 2000), en contraste la harina de cefalotórax de camarón es una opción económicamente recomendable en alimentos formulados para aves, ya que ofrece atractivas ventajas, incluyendo perfil de aminoácidos comparable con la harina de soya o de pescado y fuente natural de pigmentos carotenoides y quitina (Espinosa *et al*., 2015).

Cuadro 2. Composición bromatológica de la harina de cefalotórax de camarón, %

Proteína cruda	Fibra cruda	Cenizas
24,90	15,40	12,06

Los resultados de la caracterización bromatológica de los tratamientos de harina de cefalotórax de camarón (inclusión de 38, 40 y 42%) mostraron que los tres tratamientos presentaron diferencias significativas en los parámetros evaluados (Gráfico 1).

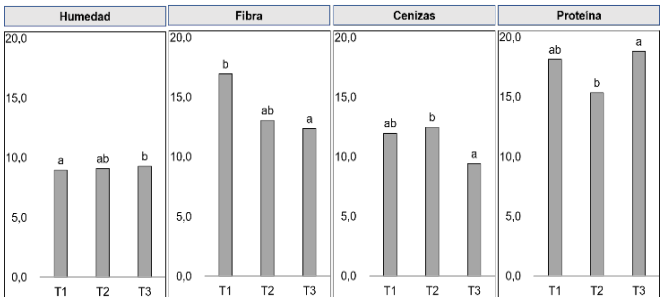


Gráfico 1. Composición bromatológica de las dietas experimentales para evaluar la conversión alimenticia de la harina de cefalotórax de camarón. Barras corresponden a los promedios del porcentaje de humedad, fibra, cenizas y proteína de los tratamientos (p<0,05).

El valor de humedad en los tratamientos se encontró dentro de los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 1829 (2014), la cual establece 13% en alimentos balanceados para animales. Salas *et al*. (2015) demostraron un contenido de humedad de 11,30% en harina de cefalotórax de camarón en dietas para gallinas ponedoras, este resultado estuvo dentro del valor máximo permitido 14.1%.

El contenido fibra en los tratamientos evaluados estuvo por encima del rango establecido por la NTE INEN 1829 (2014), la cual establece 5%. Los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Fanimo *et al*., (2006) y Mata (2017) quienes han reportado contenidos de 11,38, 12,30 y un rango que va de 10,30 a 24,70% de fibra cruda en harina de cefalotórax de camarón.

El contenido de cenizas en los tratamientos reportó valores por encima límite máximo permitido por la NTE INEN 1829 (2014), la cual establece 8%. El alto contenido de cenizas en la harina de cefalotórax de camarón se atribuye a la presencia de calcio y fósforo en el exoesqueleto de estos crustáceos (Barrientos, 2003; FAO, 2014). Mata (2017) reportó que el contenido de calcio y fósforo en la harina de residuos de camarón (cabeza y cola) varía entre 1,3 a 2,7%, y 5,2 a 11,5% como mínimo y máximo, respectivamente.

El contenido de proteína en los tratamientos presentó valores por debajo del límite máximo permitido por la NTE INEN 1829 (2014), cuyo valor es de 20%.

Estudios realizados por Beski *et al*. (2015); Tandalla (2011); Torres (2018) demostraron que con el 18% de proteína bruta en harina de cefalotórax de camarón se consiguen resultados satisfactorios en ganancia de peso y conversión alimenticia en pollos de engorde.

Civera *et al*. (1996) han reportado rangos mucho más amplios que van desde 21,2 a 54,7% Esto puede deberse a la composición de la materia prima para la elaboración de la harina, ya que una mayor proporción de cabezas y camarones enteros generarían como resultado valores más altos de proteína.

El recuento de mesófilos aerobios de los tres tratamientos se encontró en el límite permitido para alimentos de pollos de engorde (1,2 x 10^3), establecido en la NTE INEN 1829 (2014), indicando que el alimento es apto para consumo de las aves (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición microbiológica de las dietas experimentales para evaluar la conversión alimenticia de la harina de cefalotórax de camarón.

Harina de cefalotórax de camarón, %	Análisis microbiológicos, UFC/g	
	Salmonella	**Mesófilos aerobios**
38	Ausencia	3,4 x 10^2
40	Ausencia	4,1 x 10^2
42	Ausencia	5,0 x 10^2

El recuento de *Salmonella* presentó ausencia en los tres tratamientos, lo cual confirma que la materia prima tuvo un buen tratamiento y procesamiento, esto atribuido a la técnica utilizada para el secado (80 °C durante dos horas) contribuyó en la eliminación de este microorganismo patógeno perjudicial para la salud animal (Cuadro 4).

El recuento de *Salmonella* en harina de cefalotórax de camarón en raciones (5, 10 y 15%) para gallinas ponedoras reportó ausencia, esto debido a que la materia prima utilizada tuvo un manejo adecuado, obteniéndose un producto sin contaminación (Salas *et al*., 2015).

Estudio realizado por Andrade *et al*. (2007) reportó un recuento de 6 x 10^5 UFC/g en harina de cabezas de camarón, valor que se encontró dentro de los parámetros permitidos, los autores afirman que los bajos recuentos microbianos se deben al tratamiento que se le realiza al camarón entero con bisulfito sódico y a la congelación a que son sometidas las cabezas.

Comportamiento productivo de los pollos

El peso vivo inicial y la conversión alimenticia no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, al incluir cantidades crecientes de harina de cefalotórax de camarón. Este mismo efecto se pudo observar en las variables peso vivo final, ganancia diaria y consumo diario (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento de pollos Broiler Cobb-500 de engorde en etapa inicial, alimentados con harina de cefalotórax de camarón como fuente de proteína

Variable/ Harina de cefalotórax de camarón, %	Periodo de alimentación (10 días)
Peso vivo inicial (g)	
38	53,47 ± 1,16
40	53,43 ± 1,16
42	51,28 ± 1,16
Probabilidad	0,3204
Peso vivo final, g	
38	96,72 ± 2,60 a
40	88,61 ± 2,60 ab
42	85,62 ± 2,60 b
Probabilidad	0,0125
Ganancia diaria, g	
38	43,25 ± 1,69 a
40	37,33 ± 1,69 b
42	32,19 ± 1,69 b
Probabilidad	0,0002
Consumo alimento acumulado, g	
38	271,67 ± 12,14
40	270,33 ± 12,14
42	273,00 ± 14,87
Probabilidad	0,9903
Conversión alimenticia	
38	1,81 ± 0,07
40	1,82±0,07
42	1,83±0,07
Probabilidad	0,9771

El peso vivo inicial en gramos no presentó diferencias significativas en las dietas balanceadas, en contraste con el peso vivo final que presentó diferencias significativas, la dieta con 38% de harina de cefalotórax de camarón es estadísticamente diferente al tratamiento de 40 y 42%. Este mismo efecto se pudo observar en la variable ganancia diaria.

El consumo diario de alimento en gramos mostró diferencias significativas y fue ligeramente mayor en la dieta con 42% de proteína a partir de harina de cefalotórax de camarón, seguido por el 40% y el más bajo fue el 38%.

La conversión alimenticia, a pesar de no mostrar diferencias significativas, sí tuvo una respuesta mejorando en la medida que se incluyó el 38% de harina de cefalotórax de camarón. Es decir, que los nutrientes de la dieta 38% fueron mejor aprovechados por el animal para ganar peso, mostrando ventajas de la harina de cefalotórax de camarón. Además, el valor reportado se encuentra en el rango de conversión alimenticia para pollos de engorde 1,80 a 1,90 señalada por Lazo (2016).

Pacheco (2017) afirma que la de harina de cefalotórax de camarón tiene influencia en la conversión alimenticia en los pollos broiler Cobb-500 en etapa inicial, debido a que los pollos aprovechan de manera eficiente los nutrientes del exoesqueleto del camarón, quitina (17-32%), proteína (17-42%), pigmentos (1-14%), y cenizas (12,8-35,9%).

En efecto, la conversión alimenticia se debe a que la harina de cefalotórax de camarón es rica en aminoácidos esenciales (AAs), incluyendo metionina (0,592%), lisina (0,259%), arginina (3,120%), histidina (0,604%), isoleucina (1,174%), leucina (4,551%), fenilalanina (4,751%) y triptófano (0.162%), los cuales posibilitan la reducción del contenido proteico de los alimentos balanceados (incluso de 5%, 10 y 15%), sin afectar el rendimiento de los pollos, sumándose además el beneficio de la reducción en la excreción de nitrógeno al medio ambiente (Campos y Salguero, 2008; Ezquerra *et al*., 1997; Fanimo *et al*., 2006; Heu *et al*., 2003; Salas *et al*., 2015).

Salas *et al*. (2015) encontró que la inclusión de harina de cefalotórax de camarón en raciones de 5, 10 y 15% en dietas de gallinas ponedoras obtuvo una conversión alimenticia de 1,79, 1,86 y 1,82, respectivamente. Estudio realizado por Mirzah *et al*. (2020) demostró un índice de conversión alimenticia de 1,82 mediante la inclusión hasta un 20% de harina de cefalotórax de camarón en la dieta de pollos de engorde.

Estudio realizado por Okoye *et al*. (2005); Khempaka *et al*., (2006) demostró que la inclusión del 10% de harina de cefalotórax en la alimentación de pollos de engorde incrementa el peso corporal hasta 600 g/ave (fase inicial) y 1166 g/ave (fase final), este estudio reveló que la harina de cefalotórax de camarón es una valiosa fuente de proteína animal para los pollos.

Además, el aporte de la harina de cefalotórax de camarón en la alimentación de los pollos broiler es de gran utilidad, ya que la mayor proporción de la ración suministrada a las aves está compuesta por granos (maíz, arroz, trigo y sorgo), siendo principalmente fuentes energéticas (Ángeles y Gómez, 2017; Cuca y Ávila, 1978), en contraste, se reportó que la harina de cefalotórax de camarón aporta AAs, proteína (40,67%) de alta calidad, cenizas (27,48%), calcio (9,03%), fósforo (2,66%), fibra cruda (7,12%) y pigmentos (astaxantina 14 a 39 mg/kg) (Chavarría *et al*., 1996; Rødde *et al*., 2008; Salas *et al*., 2015).

CONCLUSIONES

La harina de cefalotórax de camarón es una alternativa viable como fuente proteica en la alimentación de pollos broiler Cobb-500 en etapa inicial, por consiguiente, la inclusión parcial del 38% de harina en su dieta logra una conversión alimenticia de 1,81.

LITERATURA CITADA

Andrade, R., Chávez, M., y Naar, V. 2007. Evaluación de las etapas de cocción y secado en la obtención de

harina de cabezas de camarón de cultivo (Penaeus sp). Dyna, 74(153):181-186.

Ángeles, M., y Gómez, S. 2017. Uso de granos de cereales enteros en la Alimentación de aves. Folleto técnico N. 39. Ajuchitlán, Querétaro, México. https://pdfs.semanticscholar.org/4798/13655e7c039504dc176dcfd6b8daafb3465d.pdf

Arbor Acre. 2018. Manual de manejo de pollo de engorde. https://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/AA-BroilerHandbook2018-ES.pdf

Arteaga, K., y Chávez, J. 2009. Producción del concentrado proteico del camarón. http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10931

Barrientos, Z. 2003. Zoología General. https://editorial.uned.ac.cr/book/U04026

Beski, S. S. M., Swick, R. A., y Iji, P. A. 2015. Specialized protein products in broiler chicken nutrition: A review. Animal Nutrition, 1(2), 47-53. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.05.005

Campos, A., y Salguero, S. 2008. Aminoácidos en la Nutrición de Pollos de Engorde: Proteína Ideal. 17.

Carranco, M. E., Calvo, C. C., Carrillo, D. S., Ramírez, C. R., Morales, B. E., Sanginés, G. L. y Pérez-Gil, R. F. 2011. Harina de crustáceos en raciones de gallinas ponedoras. Efecto en las variables productivas y evaluación sensorial de huevos almacenados en diferentes condiciones. Revista cubana de ciencia agrícola, 45(2):171-175.

Cayambe, L. S. 2016. Evaluación de la harina de cabezas de camarón y su efecto en la alimentación de cuyes durante la etapa de crecimiento-engorde. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Civera, R. C., Villarreal, H., Goytortúa, E., Rocha, S., Vega, F., Nolasco, H., ... & Camarillo, T. 1996. Uso de la langostilla (Pleuroncodes planipes) como fuente de proteína en dietas experimentales para camarón. Avances en Nutrición Acuícola. 325-361.

Civera, R., E. Goytortúa, S. Rocha, H. Nolasco, F. Vega-Villasante, E. Balart, E. Amador, G. Ponce, G. Colado, J. Lucero, C. Rodríguez, J. Solano, A. Flores-Tom, J. Monroy & G. Coral. 2000. Uso de la langostilla roja Pleuroncodes planipes en la nutrición de organismos acuáticos. In: R. Civera-Cerecedo, C.J. Pérez-Estrada, D. Ricque-Marie & L.E. Cruz-Suárez (eds.). Avances en nutrición acuícola IV. La Paz, B.C.S., pp. 349-365.

Colindres, E., Mondragón, Y. y Aguilar, S. 2015. Contribución a la mejora del impacto ambiental que producen las industrias camaroneras, a través de la elaboración de harina de cabeza de camarón. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma de Nicaragua. León, Nicaragua.

Chacón, A., Salas, C., y Zamora, L. 2016. Harina de cefalotórax de camarón en raciones para gallinas ponedoras: efectos en el huevo. Agronomía mesoamericana, 27(1), 81-93.

Chavarría, A., Herrera, C. H., y Zumbado, M. E. 1996. Efecto de la harina de cefalotórax de camarón sobre la pigmentación y contenido de colesterol en la yema de huevo. Reviteca: Revista en Tecnología y Ciencia Alimentaria 5:34-38, 1996.

Cuca, G., & Ávila, G. 1978. Fuentes de energía y proteínas para la alimentación de las aves. Ciencia Vet, 2:325-358.

Durán, F. 2004. Manual de explotación de aves en corral. Bogotá, Colombia, CO, Grupo Latino Ltda. 816 p

Espinosa, L., Silva, A., García, E., y López, L. 2015. Uso de harina de cabeza de camarón como reemplazo proteico de harina de pescado en dietas balanceadas para juveniles de Totoaba macdonaldi (Gilbert, 1890). Latin american journal of aquatic research, 43(3):457-465. https://dx.doi.org/10.3856/vol43-issue3-fulltext-7

Ezquerra, J. M., García-Carreño, F. L., Civera, R., y Haard, N. F. 1997. PH-stat method to predict protein digestibility in white shrimp (Penaeus vannamei). Aquaculture, 157(3):251-262. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00058-6

Fanimo, A. O., Susenbeth, A., & Südekum, K.-H. 2006. Protein utilisation, lysine bioavailability and nutrient digestibility of shrimp meal in growing pigs. Animal Feed Science and Technology, 129(3), 196-209. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.12.018

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación. http://www.fao.org/3/ab492s/AB492S01.htm (Consultada el 10 de febrero 2020).

Fernandes, T. M., Silva, J. A. D., Silva, A. H. A. D., Cavalheiro, J. M. D. O., & Conceição, M. L. D. 2013. Flour production from shrimp by-products and sensory evaluation of flour-based products. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 48(8), 962-967.

Gao, X., Yan, P., Wang, J., Liu, X., & Yu, J. 2016. Utilization of Shrimp By-Products by Bioconversion with Medical Fungi for Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitor and Antioxidant. Journal of Aquatic Food Product Technology, 25(5):694-707. https://doi.org/10.1080/10498850.2014.919550

González, M., & Moreno, E. 2018. Evaluación del aprovechamiento de cabeza y cutícula de camarón Litopenaeus Vannamei generados en la empresa CAMANICA Zona Franca S.A., Chinandega, Nicaragua. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

González, U. P. 2010. Revista 16 de Abril. Revista estudiantil de las Ciencias Médicas de Cuba. Editorial Ciencias Medicas. http://www.16deabril.sld.cu/rev/219/articulo2.html

Heu, M.-S., Kim, J.-S., & Shahidi, F. 2003. Components and nutritional quality of shrimp processing by-products. Food Chemistry, 82(2):235-242. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00519-8

Khempaka, S., Mochizuki, M., Koh, K., & Karasawa, Y. 2006. Effect of Chitin in Shrimp Meal on Growth Performance and Digestibility in Growing Broilers. Journal of Poultry Science, 43:339-343. https://doi.org/10.2141/jpsa.43.339

Lazo, J. 2016. Evaluación de la conversión alimenticia en pollos Broiler mediante la inclusión de harinas de origen animal como proteína base. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Mata, L. 2017. Tabla de Composición de Materias Primas Usadas en Alimentos para Animales: http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/29824

Mirzah, M., Fitrah, E., y Choirul, A. 2020. Effect of the Substitution the Fish Meal with Shrimp Head Waste Fermented in Diet on Broiler Performance. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 478(1):012076).

Mounica N., Ramana J., Rao D. Srinivasa, Suresh J., y Kavitha P. 2019. Evaluación química y digestibilidad de nutrientes de la harina de desecho de camarón en pollos de engorde. Indian Journal of Animal Nutrition. 36(4), 2231-6744. 10.5958 / 2231-6744.2019.00064.1

NTE INEN [Norma Técnica Ecuatoriana]. 1829. 2014. Alimentos zootécnicos compuesto para pollos de engorde. Requisitos. Quito, Ecuador.

Ochoa, A. 2014. Propuesta para la elaboración y comercialización de sopa instantánea a partir del extracto de harina de cabezas de camarón. Tesis de pregrado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Okoye, F. C., Ojewola, G. S., y Njoku-Onu, K. 2005. Evaluation of Shrimp Waste Meal as a Probable Animal Protein Source for Broiler Chickens. International Journal of Poultry Science, 4(7): 458-461. https://doi.org/10.3923/ijps.2005.458.461

Pacheco, J. 2017. Elaboración de cubos concentrados para caldo Aprovechando el cefalotórax de camarón (Cryphiops caementarius). Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

Pérez, I. C., Curbelo, C., Cobeña, M. V., & Molina, D. I. 2018. Método alternativo para la desacetilación de la quitina. Universidad Ciencia y Tecnología, (02): 8-8.

Rahman, M., y Koh, K. 2015. Effect of shrimp meal made of heads of black tiger (Penaeus monodon) and white leg (Litopenaeus vannamei) shrimps on growth performance in broilers. The Journal of Poultry Science, 0150008.

Rødde, R. H., Einbu, A., y Vårum, K. M. 2008. A seasonal study of the chemical composition and chitin quality of shrimp shells obtained from northern shrimp (Pandalus borealis). Carbohydrate Polymers, 71(3): 388-393. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.006

Salas, C., Chacón-Villalobos, A., y Zamora-Sánchez, L. 2015. La harina de cefalotórax de camarón en raciones para gallinas ponedoras. Agronomía Mesoamericana, 26(2):333. https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19327

Selecciones Avícolas. 2017. Importancia de la calidad de las patas de los broilers. https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2017/10/importancia-calidad-de-patas-de-los-broilers

SOLLA S.A. 2017. Manual de manejo para pollo de engorde. https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/manual-pollo-de-engorde-solla-2018.pdf

Sowmya, R.; Rathinaraj, K. y Sachindra, N. M. 2011. An autolytic process for recovery of antioxidant activity rich carotenoprotein from shrimp heads. Mar. Biotechnol. 13 (5):918-927. DOI: https://doi.org/10.1007/s10126-010-9353-4.

Tandalla, R. 2011. Evaluación de diferentes nivelas de proteína bruta y lisina en dietas para pollos parrilleros. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Torres, D. 2018. Exigencias nutricionales de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(1), 106-113. https://doi.org/10.22490/21456453.2052

Toyes, E. 2016. Aprovechamiento de subproductos marinos para la alimentación de camarón de cultivo y gallinas ponedoras. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Velasco, J., Díaz, G., Ramírez, R. y Pérez, L. 2019. Producción de quitosano a partir de desechos de camarón generados del procesamiento industrial. Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos. 4(1):897-901

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

BIOESTIMULANTE EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PLÁNTULAS DE PLÁTANO EN FASE DE VIVERO

BIOSTIMULANT IN THE GROWTH AND QUALITY OF BANANA SEEDLINGS IN THE NURSERY PHASE

Galo Alexander Cedeño García[1], Sofía del Rocío Velásquez Cedeño[1], Benny Alexander Avellán Cedeño[2], Jessica Elizabeth Cargua Chávez[3], Geoconda Aracely López Álava[1]

[1]Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, km 2 ½ vía Calceta – El Gramal. Calceta, Manabí, Ecuador.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Portoviejo, km 12 vía Portoviejo-Santa Ana, Portoviejo, Manabí, Ecuador
[3]Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Av. Galo Luzuriaga y Calle B, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Email: gcedeno@espam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
07/09/2021

Aceptado:
27/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):124-130

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.274

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de un bioestimulante de extracto de algas marinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de plátano en etapa de vivero. Los tratamientos evaluados fueron: bioestimulante + fertilización química (T1), fertilización química (T2) y control (T3). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y siete repeticiones. Se utilizaron rizomas de 200 g de peso, que fueron sembrados en contenedores de polietileno, donde se dejaron emerger y crecer hasta completar 20 cm de altura. Seguidamente se aplicó los tratamientos y se registró la masa seca inicial de las plántulas con la finalidad de medir el incremento de crecimiento por efecto de los tratamientos. A los 60 días después de primera aplicación de tratamientos se registró el área foliar, masa seca e índice de calidad de Dickson. Los datos se sometieron a análisis de varianza y la separación de medias con prueba de Tukey (α<0,05). Además, se realizó análisis de correlación entre las variables de crecimiento y de calidad de las plántulas. El bioestimulante + fertilización química, incrementó el área foliar, masa seca e índice de calidad de Dickson de las plántulas en 14,80, 11,22 y 7,56%, respectivamente, con relación al tratamiento de fertilización química. El índice de calidad de Dickson correlacionó positivamente con el crecimiento de las plántulas. El uso de bioestimulante de extracto de algas marinas fue efectivo para mejorar el crecimiento y calidad de las plántulas de plátano en vivero, y potenció el efecto de la fertilización edáfica.

Palabras clave: Musa AAB, biorreguladores, plantas, aclimatación, desarrollo, vigor

Abstract

The objective of the research was to evaluate the effectiveness of a marine algae extract biostimulant on the growth and quality of plantain seedlings in the nursery stage. The evaluated treatments were: Biostimulant + chemical fertilization (T1), Chemical fertilization (T2) and Control (T3). A completely randomized design with three treatments and seven repetitions was used. Rhizomes weighing 200 g were used, which were sown in polyethylene containers, where they were allowed to emerge and grow until reaching 20 cm in height. Then the treatments were applied and the initial dry mass of the seedlings was recorded in order to measure the increase in growth due to the effect of the treatments. At 60 days after the first application of treatments, the foliar area, dry mass and Dickson's quality index were recorded. The data were subjected to analysis of variance and separation of means with Tukey's test (α <0.05). In addition, correlation analysis was performed between the growth and quality variables of the seedlings. The biostimulant + chemical fertilization increased the leaf area, dry mass and Dickson's quality index of the seedlings by 14.80, 11.22 and 7.56%, respectively, in relation to the chemical fertilization treatment. Dickson's quality index positively correlated with seedling growth. The use of biostimulant from seaweed extract was effective to improve the growth and quality of plantain seedlings in the nursery, and enhanced the effect of edaphic fertilization.

Keywords: Musa AAB, bioregulators, plants, acclimatization, development, vigor.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa* AAB Simmonds) tiene importancia en el orden alimentario, social y económico a nivel local y global, debido a que contribuye a la generación de divisas, fuentes de empleo y sustenta la seguridad alimentaria de gran parte de la población, dado su alto valor energético y nutritivo (Sepúlveda *et al*., 2017; Falcomer *et al*., 2019; Scott, 2021). La principal problemática es la baja productividad, influenciada por factores limitantes como: déficit hídrico por una prolongada época seca, falta de riego complementario, pues el 81% de la superficie se cultiva bajo secano, uso de semillas de baja calidad y material genético tradicional, plantaciones en avanzada edad y densidades de siembra inadecuadas (Zambrano *et al*., 2018; INEC, 2020; Cedeño *et al*., 2020).

En este contexto, renovar e incrementar el área de siembra con material genético de calidad es imprescindible para aumentar el potencial productivo, más aún, cuando en siembras tradicionales, no se considera la calidad de las plántulas como factor determinante en la capacidad adaptativa y sobrevivencia al estrés pos trasplante, y por ende en la expresión del potencial productivo (Staver y Lescot, 2015; Jacobsen *et al*. 2019; Galán *et al*., 2018). La calidad de una planta se relaciona en gran medida con el vigor, la supervivencia y el crecimiento de las plantas después del trasplante (Grossnickle y MacDonald, 2018; Lin *et al*., 2019). Previo al trasplante a campo definitivo, las plántulas necesitan una fase previa de enraizamiento, aclimatación o endurecimiento en vivero, puesto que sin esta etapa muestran altas tasas de mortalidad y son incapaces de adaptarse y sobrevivir a condiciones de campo, más aún si provienen de propagación *in vitro* (Galán *et al*., 2018; Parkhe *et al*., 2019; El-Mahrouk y El-Shereif, 2019).

Actualmente, el uso de bioestimulantes en etapas previas al trasplante es propuesto como estrategia para fortalecer el crecimiento de las plántulas, su capacidad adaptativa al estrés y supervivencia en campo (Qin y Leskovar, 2020; Malik *et al*., 2021; Reyes *et al*., 2021). De acuerdo a consensos científicos, los bioestimulantes tanto microbianos y no microbianos son capaces de inducir respuestas morfoanatómicas, bioquímicas, fisiológicas y moleculares de las plantas, el aumento de la productividad de los cultivos, la eficiencia de uso de nutrientes y el aumento de la tolerancia contra el estrés (Rouphael y Colla, 2020). A juicio de los expertos, en investigaciones recientes, el efecto positivo de bioestimulantes microbianos y no microbianos sobre el crecimiento de plántulas de banano y plátano en fase de aclimatación en vivero (Izquierdo *et al*., 2012; Mateus y Rodríguez, 2019; Mora *et al*., 2021). Sin embargo, a nivel local, no se evidencia si los bioestimulantes aplicados en etapa de vivero mejoren la calidad de plántulas de plátano.. Por lo anterior expuesto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la efectividad de un bioestimulante sobre el crecimiento y calidad de plántulas de plátano en etapa de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se desarrolló desde junio a diciembre de 2020 en el vivero de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, en Calceta, Manabí, Ecuador, ubicado en n las coordenadas 0°49'10" de latitud sur y 80°10'40" de longitud oeste, a una altitud de 21 m.s.n.m., con temperatura media anual de 25,7°C, precipitaciones anuales promedio de 839 mm y heliofanía de 1 045 horas anuales.

Material vegetal

Se utilizaron cebollines de plátano cv. Barraganete de 200 g, los cuales fueron colocados en contenedores de polietileno de 15 x 22 cm, llenas previamente con sustrato compuesto de cascarilla de arroz, arena de río y vermicompost en relación volumétrica 1:1:1. Previo a la siembra los cebollines se limpiaron con ayuda de un cuchillo hasta dejarlos completamente blancos, con la finalidad de remover restos biológicos de insectos, nematodos y patógenos. Posteriormente, para mejorar su estado sanitario y de acuerdo con las recomendaciones de Coyne *et al*. (2010), fueron sumergidos en agua hirviendo durante 25 minutos,

Una vez que los cebollines fueron sembrados en los contenedores, se dejaron emerger y crecer hasta que completaran una altura de 20 cm por encima del nivel del sustrato, momento en el cual se procedió al registro de la masa seca de plántulas con ayuda de estufa y balanza analítica, con la intención de medir el ritmo de crecimiento diario a los 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de tratamientos.

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron:
T_1: Bioestimulante + fertilización química
T_2: Fertilización química
T_3: Control

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres tratamientos, siete repeticiones y 21 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó por 10 plántulas.

Aplicación de tratamientos

Para el tratamiento con bioestimulación, se utilizó un producto comercial compuesto por Extracto de algas marinas noruegas (*Ascophyllum nodosum*), macro y micronutrientes, reguladores de crecimiento (auxinas, giberelinas, citocininas), carbohidratos, proteínas, ácidos orgánicos, aminoácidos y vitaminas. Este producto se aplicó con una concentración de 5 $mL.L^{-1}$ de agua, y de esta solución se aplicó en drench una dosis de 25 mL $planta^{-1}$, a los 0, 15, 30 y 45 días después de iniciado el experimento. La aplicación se realizó con bomba manual de presión con dosificador.

Para el tratamiento con fertilización química se utilizó un fertilizante compuesto de 15% de N, 15% de P_2O_5 y 15% de K_2O, que fue aplicado alrededor de la plántula en dosis de 10 $g.planta^{-1}$, a los 15 días de iniciado el experimento. Las plántulas tratadas con bioestimulante también recibieron esta misma dosis de fertilización edáfica.

Registro de variables

Los datos registrados fueron variables morfométricas como altura de plántula, diámetro de tallo y longitud de biomasa radical a los 60 días de iniciado los tratamientos. La altura se midió en cm desde el nivel del sustrato hasta la V formada por las dos últimas hojas. El diámetro de tallo se registró en mm con la ayuda de un calibrador a nivel del sustrato. La longitud de biomasa radical fue medida en cm desde la base del rizoma hasta el ápice del conjunto de raíces. El área foliar fue estimada con la ecuación [1]. El índice de calidad de Dickson (ICD) fue estimado con la ecuación [2].

La masa seca de plantas fue registrada en g a los 15, 30, 45 y 60 días de crecimiento, para lo cual fueron fragmentadas en pedazos pequeños y secados en estufa de ventilación forzada a 75°C hasta alcanzar peso constante. Con los datos de masa seca se calculó el ritmo de crecimiento diario, para lo cual se utilizó la ecuación [3].

$$Área\ Foliar\ (cm^2) = LH * AH * K(0{,}80) * NH * K_2(0{,}662) \quad [1]$$

Donde:

LH = longitud de tercera hoja, AH = ancho de tercera hoja, K = factor de curvatura de Murray (1960), NH = número de hojas y K_2 = nuevo factor de curvatura de Kumar *et al*. (2002).

$$ICD = \frac{Masa\ seca\ biomasa\ total\ (g)}{\frac{Altura\ de\ planta\ (cm)}{Diámetro\ de\ tallo\ (mm)} + \frac{Masa\ seca\ aéreo\ (g)}{Masa\ seca\ radical\ (g)}} \quad [2]$$

$$RCD = [(M_F - M_I)/(T_F - T_I)] \quad [3]$$

Donde:

RCD = ritmo de crecimiento diario, M_F = masa seca final, M_I = masa seca inicial, T_F = tiempo final, T_I = tiempo inicial

Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza al 5% de probabilidades de error, la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error. Además, se realizaron correlaciones entre variables de crecimiento y calidad, y regresión del ritmo de crecimiento de masa seca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos evaluados influyeron significativamente ($p<0.05$) sobre el crecimiento morfométrico de las plántulas de plátano (Cuadro 1). El tratamiento con bioestimulante + fertilización química incrementó la altura de planta en 8,04 y 24,62%, en relación a los tratamientos con fertilización química y el control, respectivamente. El diámetro de tallo fue incrementado en 8,77 y 25,05% por el tratamiento bioestimulante + fertilización química, en relación a la fertilización química y el tratamiento control, respectivamente. De la misma forma, el tratamiento con bioestimulante + fertilización química alcanzó la mayor longitud de biomasa radical, con un incremento del 12,82 y 23,70%, con respecto a los tratamientos con fertilización química y control, en su orden respectivo (Cuadro 1).

Resultados similares reportaron Moya *et al*. (2016) quienes han verificado que en la fase de aclimatación existe mayor diámetro de tallo y longitud radical en plántulas de banano tratadas con ácidos húmicos y vermicompost, en relación a plántulas no tratadas. Al respecto, Ewane *et al*. (2019) mostraron incrementos del 32 y 30% en altura y diámetro de tallo en plántulas de plátano que recibieron aplicación de bioestimulante en vivero, en comparación al tratamiento control. Teniendo en cuenta a Mora *et al*. (2021) en plántulas de banano tratadas con biofertilizante y microorganismos durante fase de vivero, en comparación al tratamiento control se obtuvo incrementos de 14,5; 19,3 y 91,8% de altura de planta, diámetro de tallo y longitud radical, respetivamente. De manera similar, Martínez *et al*. (2021) alcanzaron incrementos de 10 cm y 19 g en altura de planta y peso seco de raíces, en plántulas de banano tratadas en vivero con vermicompost líquido y sólido, con relación a las plántulas no tratadas.

Cuadro 1. Efecto de bioestimulante sobre variables morfométricas de plántulas de plátano a los 60 días de aclimatación en vivero.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de biomasa radical (cm)
Bioestimulante + fertilización química	40,57 a[1/]	38,08 a	37,04 a
Fertilización química	37,31 b	34,74 b	32,29 b
Control	30,58 c	28,54 c	28,26 c
p-valor ANOVA	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C.V. %	3,86	3,82	5,94

[1/]Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha < 0.05$

La combinación de bioestimulante + fertilización química también influenció significativamente ($p<0,05$) la acumulación de masa seca, el área foliar e índice de calidad de Dickson, con relación a los tratamientos de fertilización química y control (Cuadro 2). El bioestimulante + fertilización química promovió mayor acumulación de masa seca, con incrementos del 11,22 y 23,98% con respecto a la fertilización química y tratamiento control. Del mismo modo, las plántulas que recibieron el bioestimulante + fertilización química alcanzaron mayor área foliar, con incrementos del 14.81 y 30,47%, en comparación a los tratamientos con fertilización química y control, respectivamente. La calidad de las plántulas fue superior con el tratamiento del bioestimulante + fertilización química en 7,56 y 20,08%, en relación a los tratamientos de fertilización química y control en su orden respectivo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de bioestimulante sobre el crecimiento y calidad de plántulas de plátano a los 60 días de aclimatación en vivero.

Tratamientos	Masa seca de planta (g)	Área foliar (cm^2)	Índice de calidad de Dickson (ICD)
Bioestimulante + fertilización química	57,04 a	3230,66 a	13,20 a
Fertilización química	50,64 b	2752,21 b	12,19 b
Control	43,36 c	2246,40 c	10,55 c
p-valor ANOVA	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C.V. %	7,38	4,16	3,16

[1/]Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha < 0.05$

Los resultados se asemejan a los informados por Izquierdo *et al*. (2012), quienes reportaron una mayor acumulación de masa seca y área foliar en plántulas *in vitro* de banano que recibieron aplicación de un análogo espirostánico de brasinoesteroides en fase de aclimatación. Asimismo, Mukhongo *et al*. (2015) alcanzaron incrementos de masa seca de plántulas de banano del 34, 46 y 33%, respectivamente, con aplicación de tres combinaciones de bioestimulantes de origen microbiano, en relación al tratamiento control. También, los resultados obtenidos por Mateus y Rodríguez (2019) que reportaron mayor acumulación de masa seca y tasa fotosintética en plántulas de plátano tratadas con bioestimulantes. En este mismo contexto, Mora *et al*. (2021) mostraron incrementos del 13,4 y 90,5% de área foliar y peso seco en plántulas de banano tratadas con biofertilizante y microorganismos durante fase de vivero, en comparación al tratamiento control. Los resultados de índice de calidad de Dickson, fueron próximos a los obtenidos por Rodríguez y Ramírez (2006) en plántulas de banano en fase de vivero, quienes reportaron promedios de hasta 12 puntos de ICD.

El ritmo de crecimiento diario basado en acumulación de masa seca varió significativamente ($p<0,05$) con los tratamientos evaluados (Figura 1). En todos los tratamientos se observó una tendencia cuadrática, donde a partir de los 45 días el ritmo de crecimiento empieza a ralentizarse, posiblemente debido a que el volumen del contenedor comienza a ser limitante para el crecimiento radical de las plántulas. Se observó mayor incremento del ritmo de crecimiento con el tratamiento bioestimulante + fertilización química, donde entre los 0-15 días superó a la fertilización química y control con el 23,91 y 41,30%, respectivamente. Entre los 16-30 días el bioestimulante + fertilización química incrementó el ritmo de crecimiento en 20 y 40%, con respecto a los tratamientos de fertilización química y control. Así mismo, el bioestimulante + fertilización química incrementó el ritmo de crecimiento en 10,77 y 35,38%, con relación a la fertilización química y tratamiento control entre los 31-45 días de crecimiento en vivero. Finalmente, entre los 46-60 días de crecimiento, el bioestimulante + fertilización química mostró un incremento mayor a los tratamientos de fertilización química y control, con 8,93 y 32,14%, en su respectivo orden (Figura 1).

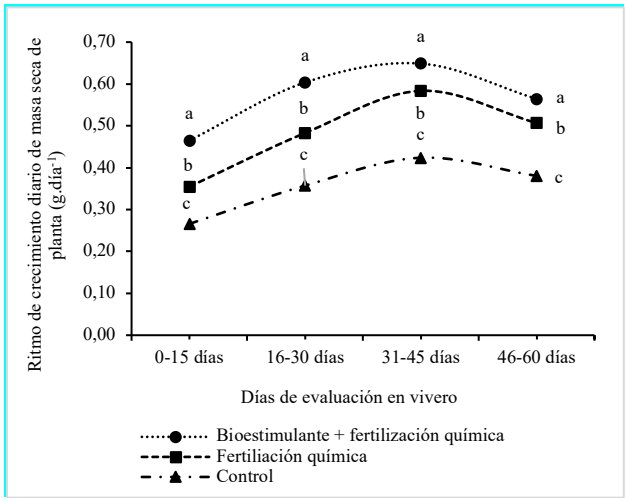


Figura 1. Ritmo de crecimiento diario a base de masa seca de plántulas de plátano en fase de vivero. Tratamientos con letra distinta en los periodos de crecimiento evaluados difieren estadísticamente según la prueba de Tukey $\alpha<0.05$.

En este sentido, los resultados de acumulación de masa seca se asemejan a los reportados por Izquierdo *et al*. (2012), Mukhongo *et al*. (2015), Mateus y Rodríguez (2019) y Mora *et al*. (2021) que consiguieron incrementar la masa seca de plántulas de banano en aclimatación con aplicación de diversos bioestimulantes. Los resultados obtenidos también evidencian que los bioestimulantes mejoran el uso de nutrientes y potencian el efecto de la fertilización, dado que las plántulas que recibieron aplicación de bioestimulante, también recibieron fertilización química edáfica, lo cual se reflejó en mayor crecimiento y calidad de las plántulas (Cuadro 1 y 2).

En este contexto, el efecto de los bioestimulantes sobre el crecimiento de plántulas en vivero se debe a su diversa y compleja composición química de sustancias bioactivas como hidrolizados de proteínas, extractos de algas, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, compuestos nitrogenados, bacterias beneficiosas y agentes fúngicos, que estimulan la fisiología y la bioquímica de las plantas, como la proporción de pigmentos fotosintéticos de las hojas (carotenoides y clorofila), un mayor potencial antioxidante, un enorme crecimiento de las raíces, una mayor eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) y una mayor capacidad de tolerar el estrés pos trasplante (Colla *et al*., 2015; Qin y Leskovar, 2020; Rouphael y Colla, 2020; Malik *et al*., 2021; Ali *et al*., 2021).

Independientemente del efecto de los tratamientos, todas las variables morfométricas y de crecimiento se correlacionaron positiva y significativamente ($p<0.05$) con el índice de calidad de Dickson (Cuadro 3). En este sentido, los resultados se aproximan a los señalados por Binotto *et al*. (2010) y Lima *et al*. (2013) quienes informaron que algunas variables de crecimiento se correlacionan fuertemente con el índice de calidad de Dickson. En el mismo contexto, Lin *et al*. (2019) concluyeron que las variables morfofisiológicas se corresponden con el vigor de las plántulas.

Cuadro 3. Relación entre el crecimiento y calidad de plántulas de plátano a los 60 días de aclimatación en vivero.

	Índice de calidad de Dickson (ICD)	
Altura de planta (cm)	R = 0,90	P = <0,0001
Diámetro de tallo (mm)	R = 0,91	P = <0,0001
Longitud de biomasa radical (cm)	R = 0,89	P = <0,0001
Masa seca de planta (g)	R = 0,79	P = <0,0001
Área foliar (cm^2)	R = 0,91	P = <0,0001

R = Coeficiente de correlación de Pearson
P = Significancia estadística de las correlaciones $\alpha \leq 0.05$

De acuerdo con los resultados logrados, la calidad de una plántula está en función de un desarrollo equilibrado entre las principales estructuras morfo-anatómicas y las funciones fisiológicas que cada una desempeña, lo que ha sido sugerido por varios estudios realizados con otras especies de interés agrícola (Binotto *et al*., 2010; Lima *et al*., 2013; Gomes y Miglioranza, 2015; Rezende *et al*., 2016; Alves *et al*., 2018; Lin *et al*., 2019). Finalmente, la calidad de una planta se traduce en mayor desarrollo del sistema radical que promueve una mayor exploración y captación de recursos nutricionales del suelo, mayor superficie foliar y actividad fotosintética, y por consiguiente mayor crecimiento y adaptación en campo.

CONCLUSIONES

La aplicación de bioestimulante en vivero fue efectivo para incrementar el crecimiento y calidad de plántulas de plátano en vivero. El bioest
imulante potenció el efecto de la fertilización edáfica. La calidad de las plántulas se correspondió con mejores características morfométricas y mayor crecimiento en vivero.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecemos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por haber financiado la totalidad de esta investigación a través de los proyectos institucionales “Selección de clones élites de plátano (Musa AAB Simmonds.) de alto potencial productivo a partir de fincas plataneras de Manabí” con CUP 381232 y “Fortalecimiento de la agricultura familiar local mediante aplicación de buenas prácticas de manejo de suelo, cultivos, bioinsumos y poscosecha” con CUP 384767 que se ejecutan actualmente en la institución, tal como consta en la Secretaría de Planificación del Estado Ecuatoriano.

LITERATURA CITADA

Ali, O., Ramsubhag, A. & Jayaraman, J. 2021. Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. Plants, 10: 531. doi.org/10.3390/plants10030531.

Alves, R., Gomes, G., Malta, E., Andrade, G., & do Sacramento, C. (2018). Manejo de matrizes interfere no rendimento e na qualidade de mudas de cacaueiros. Revista Brasileira de Fruticultura, 40(3): 1 – 8. doi.org/10.1590/0100-29452018582.

Binotto, A., Lúcio, A. & Lopes, S. (2010). Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. Cerne, Lavras, 16(4), 457-464. doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005.

Cedeño, G., Guzmán, A., Zambrano, H., Vera, L., Valdivieso, C. & López, G. 2020. Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la

morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. Scientia Agropecuaria 11(4): 483 – 492. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2020.04.03.

Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R. & Rouphael, Y. 2015. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 28-38. Doi.10.1016/j.scienta.2015.08.037.

Coyne, D., Wasukira, A., Dusabe, J., Rotifa, I. & Dubois, T. 2010. Boiling water treatment: A simple, rapid and effective technique for nematode and banana weevil management in banana and plantain (Musa spp.) planting material. Crop Protection, 29, 1478-1482. doi:10.1016/j.cropro.2010.08.008.

Ewane, C., Ndongo, F., Ngoula, K., Tene, P., Opiyo, S. & Boudjeko, T. 2019. Potential Biostimulant Effect of Clam Shells on Growth Promotion of Plantain PIF Seedlings (var. Big Ebanga & Batard) and Relation to Black Sigatoka Disease Susceptibility. American Journal of Plant Sciences, 10: 1763-1788. DOI: 10.4236/ajps.2019.1010125.

El-Mahrouk, M. & El-Shereif, A. 2019. Micropropagation of Banana: Reversion, Rooting, and Acclimatization of Hyperhydric Shoots. HORTSCIENCE 54(8):1384–1390. doi.org/10.21273/HORTSCI14036-19.

Falcomer, A., Resende, R., de Lima, B., Ginani, V. & Zandonadi, R. 2019. Health Benefits of Green Banana Consumption: A Systematic Review. Nutrients, 11(6): 1222. doi: 10.3390/nu11061222.

Galán, V., Rangel, A., López, J., Pérez, J., Sandoval, J. & Souza, H. 2018. Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. Revista Brasileira de Fruticultura 40(4): 1-22. DOI: http://dx.doi.org /10.1590/0100-29452018574.

Gomes, C. & Miglioranza, E. 2015. Quality levels of organic coffee seedlings in black and white nonwoven fabric (WNF) containers of various sizes. African Journal of Agricultural Research, 10(9), 86-89. doi.org/10.5897/AJAR2014.9393.

Grossnickle, S. & MacDonald, E. 2018. Seedling quality: history, application, and plant attributes. A Review. Forests, 9, 283. doi:10.3390/f9050283.

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2020. Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Boletín técnico N-02-2020-MOD_AMB_ESPAC. Quito, Ecuador. 11 p.

Izquierdo, H., González, M., Núñez, M., Proenza, R. & Álvarez, I. 2012. Efectos de la aplicación de un análogo espirostánico de brasinoesteroides en vitroplantas de banano (Musa spp.) durante la fase de aclimatización. Cultivos Tropicales, 33(1): 71-76.

Jacobsen, K., Omondi, B., Almekinders, C., Alvarez, E., Blomme, G., Dita, M., skra-Caruana, M., Ocimati, W., Tinzaara, W., Kumar, P. & Staver, C. 2019. Seed degeneration of banana planting materials: strategies for improved farmer access to healthy seed. Plant Pathology, 68, 207–228. doi: 10.1111/ppa.12958.

Kumar, N., Krishnamoorthy, V., Nalia, L. & Soorianathasundharam, K. 2002. A new factor for estimating total leaf area in banana. InfoMusa, 11(2), 42 – 43. Recuperado de https://www.musalit.org/seeMore.php?id=14204

Lima, S., Marimon, B., Petter, F., Tamiozzo, S., Bossi, G. & Schwantes, B. 2013. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. Acta Scientiarum. Agronomy, 35(3), 333-341. doi. 10.4025/actasciagron.v35i3.17542.

Lin, K., Wu, C. & Chang, Y. 2019. Applying Dickson Quality Index, Chlorophyll Fluorescence, and Leaf Area Index for Assessing Plant Quality of Pentas lanceolate. Not Bot Horti Agrobo, 47(1), 169-176. doi.10.15835/nbha47111312.

Malik, A., Mor, V., Tokas, J., Punia, H., Malik, S., Malik, K., Sangwan, S., Tomar, S., Singh, P., Singh, N., Himangini., Vikram., Nidhi., Singh, G., Vikram., Kumar, V., Sandhya. & Karwasra, A. 2021. Biostimulant-Treated Seedlings under Sustainable Agriculture: A Global Perspective Facing Climate Change. Agronomy, 11, 14. doi.org/10.3390/agronomy11010014.

Martínez, G., Rey, J., Pargas, R., Guerra, C., Manzanilla, E. & Ramírez, H. 2021. Efecto de sustratos y fuentes orgánicas en la propagación de banano y plátano. Agronomía Mesoamericana 32(3):808-822. doi:10.15517/am.v32i3.42490.

Mateus, D. & Rodríguez, G. 2019. Efecto de bioestimulantes sobre la acumulación de materia seca e intercambio de gases en plantas de plátano (Musa AAB). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 13(2): 151-160. doi.org/10.17584/rcch.2019v13i2.8460.

Mora, A., Naranjo, J., Albiño, A., Flores, J., Oviedo, R., Galarza, L., Vera, M., Painii, P. & Barcos, M. 2021. Optimización en la aclimatación de plántulas micropropagadas de banano (Musa sp.) utilizando tres

insumos orgánicos. Bionatura 6(1):1452-1461. http://www.revistabionatura.com

Moya, M., Sánchez, E., Cabezas, D., Calderín, A., Marrero, D., Héctor, H. & Pérez, S. 2016. Influence of vermicompost humic acid on chlorophyll content and acclimatization in banana clone, Enano Guantanamero. African Journal of Biotechnology 15(47): 2659-2670. DOI: 10.5897/AJB2016.15681.

Murray, D. 1960. The effect of deficiencies of the major nutrients on growth and leaf analysis of the banana. Tropical Agriculture, 37(2): 97-106. Recuperado de https://journals.sta.uwi.edu/ta/index.asp?action=viewIssue&issueId=358

Mukhongo, R., Kavoo-Mwangi, M., Okalebo, J., Were, B., Mwangi, E. & JJefwa, J. 2015. Acclimatization and growth of tissue cultured banana co-inoculated with microbiological and chemical commercial products in different soils in Kenya. Academia Journal of Agricultural Research 3(8): 156-168. DOI: 10.15413/ajar.2015.0113.

Parkhe, S., Dahale, M., Tayde, S. & Nagre, P. 2019. Acclimatization of In Vitro Propagated Grand Naine Banana Plantlets. Bull. Env. Pharmacol. Life Sci., 8 (3): 44-47.

Qin, K. & Leskovar, D. 2020. Humic Substances Improve Vegetable Seedling Quality and Post-Transplant Yield Performance under Stress Conditions. Agriculture, 10, 254. doi:10.3390/agriculture10070254.

Reyes, J., Ramos, R., Llerena, L., Ramírez, M. & Falcón, A. 2021. Potencialidades de oligogalacturónidos y quitosacáridos en el enraizamiento de las plantas. Terra Latinoamericana 39: 1-9. e846. doi.org/10.28940/terra.v39i0.846.

Rezende, F., Hardt, V., Branco, C. & Moura, M. 2016. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 51(9), 1449-1456. doi. 10.1590/S0100-204X2016000900043.

Rodríguez, G. & Ramírez, H. 2006. Efecto de diferentes sustratos y dosis de nitrógeno sobre el desarrollo de plantas de banano (Musa AAA) en etapa de vivero. En: Soprano, E., Adami, F., Lichtemberg, L., & Silva, M. (Editores), XVII REUNIÃO INTERNACIONAL ACORBAT 2006, Bananicultura: um negócio sustentável, Joinville – Santa Catarina – BRASIL.

Rouphael, Y. & Colla, G. 2020. Editorial: Biostimulants in Agriculture. Front. Plant Sci. 11:40. doi: 10.3389/fpls.2020.00040.

Sepúlveda, W., Ureta, I., Hernández, G. & Solórzano, G. 2017. Consumo de plátano en Ecuador: hábitos de compra y disponibilidad a pagar de los consumidores. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (PR), 10(4): 995-1014. doi:http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p995-1014.

Scott, G. 2021. A review of root, tuber and banana crops in developing countries: past, present and future. International Journal of Food Science and Technology, 56: 1093–1114. doi:10.1111/ijfs.14778.

Staver, C. & Lescot, T. 2015. La propagación de material de siembra de calidad para mejorar la salud y productividad del cultivo: prácticas clave para las musaceas: Guía ilustrada. Bioversity International, Roma, IT. 26 p. ISBN 13:978-92-9255-016-5. Recuperado de https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/multiplication_guide_Spanish_bookmarked_opt.pdf

Zambrano, Y., Rivadeneira, J. & Pérez, M. 2018. Linking El Niño Southern Oscillation for early drought detection in tropical climates: The Ecuadorian coast. Science of the Total Environment 643: 193–207. doi.10.1016/j.scitotenv.2018.06.160.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

RIEGO DEFICITARIO Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DE HÍBRIDO DE MAÍZ

DEFICIT IRRIGATION AND SEEDING DENSITY IN MORPHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE INDICATORS OF CORN HYBRID

Richard Gabriel Tapia Chávez, Rolando Venancio León Aguilar, Caridad Antonio Torres García

Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Email: rolando.leon@utm.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
25/08/2021

Aceptado:
20/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):131-140

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.269

Resumen

El rápido incremento de la población mundial ha hecho que el uso eficiente del agua sea una necesidad impostergable. La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del riego deficitario y la densidad de siembra en indicadores morfofisiológicos y productivos del cultivo de maíz híbrido Py 4039 con riego por goteo. Se desarrolló un experimento bifactorial con arreglo de 4x3 con 12 tratamientos, se evaluaron cuatro porcentajes de la lámina bruta calculadas con el software Cropwat 8,0 y tres densidades de siembra. Se desarrolló un experimento en parcelas divididas. En las parcelas principales se evaluaron las láminas al 120, 100, 90 y 80% de la lámina bruta total y en las parcelas secundarias las densidades de siembras de 66 666, 50 000 y 40 000 plantas por ha. Las variables morfofisiológicas medidas fueron altura de plantas, diámetro del tallo, número de hojas y altura de inserción de la mazorca y las variables productivas: peso promedio de los granos y rendimiento estimado. El uso eficiente del agua se estimó por la relación entre la producción de maíz obtenida y el volumen de agua consumido. Los resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza bifactorial, con el programa estadístico (STATGRAPHICS) Statistical Analysis System. Los resultados obtenidos demuestran que con lámina de riego de 376,31 mm y densidad de 66 666 plantas se alcanza rendimiento medio de 13,49 $t.ha^{-1}$, y una eficiencia en el uso del agua de 8,98 kg de maíz producido por m^{-3} de agua aplicado.

Palabras clave: Agua, eficiencia, producción, rendimiento.

Abstract

The rapid increase in the world's population has made efficient use of water an urgent necessity. The objective of the research was to evaluate the effect of deficit irrigation and planting density on morphophysiological and productive indicators of the hybrid Py 4039 corn crop with drip irrigation. A bifactorial experiment was developed with a 4x3 arrangement with 12 treatments, four percentages of the raw sheet calculated with the Cropwat 8.0 software and three planting densities were evaluated. An experiment was developed in divided plots. In the main plots the sheets were evaluated at 120, 100, 90 and 80% of the total gross layer and in the secondary plots the planting densities of 66 666, 50 000 and 40 000 plants per ha. The morphophysiological variables measured were plant height, stem diameter, number of leaves and corn insertion height, and the productive variables: average grain weight and estimated yield. The efficient use of water was estimated by the relationship between the corn production obtained and the volume of water consumed. The results were evaluated by means of a bifactorial analysis of variance, with the statistical program (STATGRAPHICS) Statistical Analysis System. The results obtained show that with an irrigation sheet of 376.31 mm and a density of 66 666 plants, an average yield of 13.49 t.ha-1 is reached, and an efficiency in the use of water of 8.98 kg of corn produced per m-3 of water applied.

Keywords: Water, efficiency, production, performance.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo, por su uso en la alimentación humana, animal, y como materia prima para la industria (Grande y Orozco, 2013; Coral *et al*., 2019). Según informe de la FAO (2016), en el 2014 se obtuvo la producción record de maíz seco duro a nivel mundial, superando los 1037,8 millones de toneladas. Carvajal y Caviedes (2019) señalan que en la región sudamericana la producción se ha incrementado; sin embargo, se muestra gran variabilidad en cuanto a los rendimientos alcanzados, los cuales pueden ser superiores a las 10 $t.ha^{-1}$, señalando que aún existen zonas donde pueden ser inferiores a las 2,12 $t.ha^{-1}$.

En el Ecuador la producción de maíz seco duro ha tenido un ascenso significativo en los últimos años, tanto en área sembrada como en los niveles de rendimientos y producción alcanzados, En la campaña del 2020 la superficie sembrada en el país fue de 334 767 ha y la producción de 1 479 770 toneladas con un rendimiento medio de 6,56 $t.ha^{-1}$ (ESPAC, 2020).

Múltiples factores tienen influencia directa e indirecta en el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo del maíz (Bonilla y Singaña, 2019). Moran *et al*. (2020) precisan que la sustentabilidad de la producción maicera se puede lograr con la aplicación eficiente de las prácticas agrícolas, entre las que destacan el riego y la fertilización, consideran que la respuesta del cultivo del maíz está relacionada con las características del material de siembra, clima, suelo, agua, densidad poblacional entre otros.

El cultivo del maíz es una planta que presenta una demanda hídrica entre los 500 y 800 mm, sin embargo, la sequía y la escasez de agua son los elementos predominantes que limitan la producción agrícola en las regiones áridas y semiáridas del mundo (Chen *et al*., 2019). La búsqueda de alternaitva que ayuden a disminuir el consumo de agua en la producción de maíz tiene un gran impacto en la actualidad. Dentro de estas acciones, el riego localizado por goteo se convierte en una alternativa viable ya que reduce las dosis de agua, con un ahorro significativo a la vez que se logra un mayor aprovechamiento por parte de la planta (Wittling *et al.,* 2019). Además del método de riego se pueden aplicar acciones que ayudan a minimizar el consumo de agua, siendo el riego deficitario una opción.

Según Mustafa *et al.* (2017) el riego deficitario presenta rendimientos de granos similares a los alcanzados con el riego completo y, al mismo tiempo, podría ahorrar de 121-197 mm de agua por temporada. La aplicación del riego deficitario en el inicio de floración puede aumentar el rendimiento en el cultivo dependiendo del tipo de suelo y su fertilidad. Rivera *et al*. (2020), señalan que el riego deficitario puede ser una opción para disminuir hasta 20% de la ETc en cultivos como el pimiento.

Wu *et al.* (2018) expresan que el riego deficitario es una alternativa de cultivo que se centra en el rendimiento de los cultivos, el ahorro de agua y el comportamiento fisiológico de las plantas, permitiendo una mayor absorción de agua en la parte más húmeda del sistema de raíces que compensa la baja absorción del lado más seco. Mientras que Mendoza *et al.* (2016), manifiestan que es importante saber en qué etapas de crecimiento, utilizar el riego deficitario para lograr rendimientos óptimos.

Además del manejo adecuado del riego, existen otros factores para garantizar los niveles de producción de acuerdo al potencial productivo del cultivo, entre ellos la densidad de plantas por hectáreas. En estudio realizado por Martínez *et al.* (2017) para evaluar la respuesta de varios híbridos bajo diferentes densidades de siembran obtuvieron la mayor productividad de granos con un híbrido simple y 75 000 $plantas.ha^{-1}$, con rendimiento promedio de 9,07 $t.ha^{-1}$.

Por su parte Quevedo *et al.* (2015), al evaluar el híbrido impacto con una densidad de población de 112 500 $plantas.ha^{-1}$ obtuvieron rendimientos de 11,6 $t.ha^{-1}$ y una rentabilidad del 59,6%. Guangzhou *et al.* (2020) expresan que la selección óptima de la población en plantas permite que el maíz intercepte y utilice la radiación solar de manera más eficiente lo que contribuye a un aumento notable en el potencial de rendimiento de grano.

Cao *et al.* (2021) señalan que es importante tener en cuenta la densidad de siembra, si esta es alta, reduce la transmisión de luz dentro de una población y acelera la senescencia de las hojas lo cual afecta la fotosíntesis en el cultivo y la distribución de sustancias que limitan el desarrollo del grano.

El híbrido de maíz Pioneer 4039 es de excelente calidad, tallos, raíces, y sanidad de los granos. Combina uniformidad, estabilidad y alto rendimiento. Roca (2019) señala que es un híbrido con un buen cierre de punta de mazorca, grano pesado, recomienda distancia de siembra entre surcos de 0,8 a 0,9 metros, lo que permite una altura de mazorca entre los 1,45 m hasta 1,55 m con una altura de planta que puede alcanzar hasta los 2,33 m, y rendimiento agrícola de 8,06 $t.ha^{-1}$ de grano seco. La

investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la densidad de siembra y el riego deficitario en indicadores morfofisiológicos y productivos del cultivo de maíz híbrido Pioneer, Py 4039.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del ensayo

La investigación se realizó en el campus experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la Parroquia Lodana, del cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador, localizada en las coordenadas geográficas 01°09´51" de Latitud Sur y los 80°23´24" de Longitud Oeste, a una altitud de 60 msnm. Presenta una temperatura promedio anual de 26,36°C, una humedad relativa promedio de 79,81%, con una evaporación promedio ascendente de los 1665 mm y una precipitación promedio anual de 738 mm.

Material genético

En el estudio se utilizó el híbrido de maíz (*Zea mays*) de la línea Pioneer, Py 4039. Los que recomiendan densidad de siembra entre las 62 500 y 67 000 plantas.ha^{-1} Se caracteriza por un ciclo (55-57 días a la floración) y de (120-130 días) a la cosecha, con una altura de planta que puede alcanzar entre los 2,65 hasta 2,75 metros.

Diseño experimental

Se desarrolló un experimento bifactorial con arreglo de 4x3 para un total de 12 tratamientos con tres repeticiones. Los factores en estudio fueron

1. **Densidad de siembra:** Se estudiaron tres densidades de siembra: 66 666, 50 000 y 40 000 plantas ha^{-1}. Para lograr estas densidades se realizó la siembra con un surco del cultivo para cada cinta de riego, la cual estaba colocada a un metro y se establecieron tres distancias entre plantas: 0,15-0,20-0,25 metros.

2. **Riego deficitario controlado:** Se estudiaron cuatro porcentajes de las láminas brutas totales aplicadas al cultivo 1(120%); 2(100%); 3(90%) y 4(80%) Las láminas de riego netas y brutas parciales y totales para el ciclo del cultivo, fueron determinadas mediante el software Cropwat. 8,0 (FAO, 2006). Los tratamientos se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados. Porcentaje de lámina bruta total (Lbt) y densidad de siembra

Factor Porcentaje de la Lámina bruta	Densidad de siembra		
	A 66 666 plantas ha^{-1}	B 50 000 plantas ha^{-1}	C 40 000 plantas ha^{-1}
1 (120% de la Lbt)	T1	T2	T3
2 (100% de la Lbt)	T4	T5	T6
3 (90% de la Lbt)	T7	T8	T9
4 (80% de la Lbt)	T10	T11	T12

El experimento se desarrolló en un diseño de parcelas divididas, en las parcelas principales se evalúo el factor riego deficitario en función de los porcentajes de la lámina bruta estudiados y en las parcelas secundarias se estudió las densidades de siembra. Con este diseño se logró regular los tiempos de riego aplicados de acuerdo a cada uno de los porcentajes evaluados.

Riego y determinación de las dosis aplicadas

Se utilizó un sistema de riego por goteo con cintas de la marca TORO con goteros separados a 0,20 metros, se realizó la evaluación del sistema determinando el caudal medio de los goteros y el porcentaje de uniformidad.

La programación del riego se realizó mediante software Cropwat 8,0. (FAO, 2006), para lo cual se utilizaron los datos del cultivo del maíz (Cuadro 2).

Las propiedades hidrofísicas del suelo cuadro 3.

Cuadro 2. Datos del cultivo del maíz

Parámetros	UM	Valor
Cultivo		maíz
Marco de siembra	m	Variado según el experimento (1x0,15); (1x0,20) y (1x0,25)
Días a la cosecha	días	120
Etapas para el manejo del riego	días	20; 40 y 20
Zr: Sistema radicular efectivo	m	0,15; 0,25 y 0,35
Kc: Coeficientes de cultivo		0,80; 1,15 y 0,90
F:Factor de agotamiento		0,30

Las propiedades hídrofísicas de suelo, fueron determinadas en el laboratorio de suelo y aguas del departamento de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí. Los datos del clima fueron tomados de la estación meteorológica La Teodomira con una serie de 18 años, comprendida entre el año 2000 y 2018.

Cuadro 3. Propiedades hidrofísicas del suelo

% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural	Densidad Aparente (g.cm^3)	Densidad Real (g.cm^3)	Porosidad (%)	Capacidad de campo (%Pss)	Punto de marchitez (%Pss)
52,4	47	**0,6**	Arc.Arenoso	1,22	2,65	57,73	23,25	12,20
44,8	46,2	**9**	Arc.Arenoso	1,25	2,65	57,73	24,39	13,04

Con la programación del riego, realizada mediante el Cropwat 8.0 se obtuvieron el número y las fechas de riego, así como las láminas netas y brutas parciales (Lnp y Lbp), en L.m^2; a aplicar en cada riego, a las que se le determinaron los porcentajes evaluados (Cuadro 4).

Cuadro 4. Láminas netas y brutas por riego y totales aplicadas, según los porcentajes de la lámina bruta evaluados

Fechas de Riego	Lnp (L.m^2)	Lbp (L.m^2)	1(120 % de la Lbp) (L.m^2)	2. (100 % de la Lbp (L.m^2)	3(90 % de la Lbp) (L.m^2)	4 (80 % de la Lbp (L.m^2)
5/8/2019	10,0	11,1	12,21	11,1	9,99	8,88
9/8/2019	10,7	11,9	13,09	11,9	10,71	9,52
12/8/2019	11,0	12,2	13,42	12,2	10,98	9,76
15/8/2019	11,1	12,4	13,64	12,4	11,16	9,92
19/8/2019	14,7	16,4	18,04	16,4	14,76	13,12
23/8/2019	15,5	17,2	18,92	17,2	15,48	13,76
27/8/2019	15,8	17,5	19,25	17,5	15,75	14,00
31/8/2019	16,0	17,7	19,47	17,7	15,93	14,16
4/9/2019	18,8	20,9	22,99	20,9	18,81	16,72
8/9/2019	18,8	20,9	22,99	20,9	18,81	16,72
12/9/2019	20,4	22,6	24,86	22,6	20,34	18,08
16/9/2019	21,4	23,8	26,18	23,8	21,42	19,04
20/9/2019	21,4	23,8	26,18	23,8	21,42	19,04
24/9/2019	21,1	23,4	25,74	23,4	21,06	18,72
28/9/2019	21,1	23,4	25,74	23,4	21,06	18,72
2/10/2019	20,6	22,9	25,19	22,9	20,61	18,32
6/10/2019	19,8	22,0	24,20	22,0	19,8	17,60
10/10/2019	19,8	22,0	24,20	22,0	19,8	17,60
Total	308,0	342,1	376,31	342,1	307,89	273,68

Determinación de los tiempos de riego de acuerdo con los porcentajes de las láminas brutas a aplicar

Al tratarse del riego localizado se determinó la franja húmeda, la que se obtuvo mediante lecturas del contenido volumétrico de humedad a ambos lados de la cinta de goteros para lo cual se utilizó el sensor de humead TDR-300, estimándose una franja húmeda de 0,40 metros. Los datos utilizados para calcular los tiempos de riego en correspondencia con los porcentajes de las láminas brutas aplicadas de acuerdo con las fechas de cada riego y en correspondencia con el desarrollo fenológico del cultivo se establecen en el cuadro 5. La determinación de los tiempos de riego se realizó mediante el siguiente procedimiento.

$$\mathrm{Tr} = \frac{VNS}{VRS}\ (h) \qquad (1)$$

$$\mathrm{VNS} = \mathrm{Lbp\ x\ Lfh\ x\ Afh}\ (h)$$

$$\mathrm{VRS} = \mathrm{qg\ x\ Ng}\ (h)$$

Manejo agronómico del experimento

Se ejecutó la preparación del suelo de forma mecanizada, realizando las siguientes labores: arado, pase de rastra, permitiendo que el suelo quedara en óptimas condiciones. La siembra se realizó el 5 de agosto del 2019.

Cuadro 5. Parámetros para la determinación de los tiempos de riego.

Parámetro	Descripción
Tr	Tiempo de riego en (h)
VNS	Volumen que necesita surco (L)
VRS	Volumen que recibe el surco (L.h^{-1})
Lbp	Lámina bruta en (L.m^2)
Lfh	Largo de la franja húmeda (m)
Afh	Ancho de la franja húmeda (m)
qg	Caudal del gotero (L.h^{-1})
ng	Número de goteros

Se realizaron fertilizaciones edáficas acorde a la fase del cultivo; la primera a los 10 días, después de la siembra se utilizó el fertilizante INDIA con la fórmula (16-16-16) con una dosis de 5 g.plantas^{-1}. La segunda aplicación se realizó a los 25 días, añadiendo 5 g.plantas^{-1} con una mezcla de 7 kg del fertilizante INDIA (16-16-16) y 6 kg de Yaramila Hydra con formulación (19-4-19) y 4 kg de urea. La tercera aplicación se realizó a los 40 días, con una combinación de urea y nitrato de potasio, con dosis de 5 g. plantas^{-1}.

Las plagas fueron controladas con luger ingrediente activo (Thiamethoxam), las dosis aplicadas fueron 20 g.L^{-1} a los 20 días. Para combatir la mayor plaga del cultivo de maíz *Spodoptera frugiperda*, se utilizó el insecticida Pyrinex con ingrediente activo Clorpirifos mezclado con arena, el

producto se aplicó al iniciar la infestación del gusano cogollero que fue a los días 35 después de la siembra.

La cosecha se realizó 120 días después de la siembra, cuando se alcanzó la madurez fisiológica con un secado óptimo de los granos.

Evaluación de las variables morfofisiológicas y productivas

Para el análisis de estas variables se seleccionaron 9 plantas al azar por réplica para un total de 27 plantas por tratamientos. Las variables medidas fueron: altura de planta, diámetro del tallo, altura de inserción de mazorca. Las productivas fueron: longitud, diámetro y peso total de los granos por mazorcas y el rendimiento final.

Las variables morfofisiológicas fueron medidas a los 60 días después de la siembra. La altura de planta fue medida con un flexómetro en cm. La medición del diámetro del tallo de las plantas se realizó con un calibrador electrónico esta medida se tomó a 5 cm sobre el nivel del suelo.

El rendimiento, fue determinado de acuerdo con los tratamientos evaluados, se cosecharon 9 plantas por réplicas, para un total de 27 por tratamientos. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra. A las mazorcas cosechadas por plantas se le determinó: longitud, diámetro y peso de los granos. El rendimiento en $t.ha^{-1}$ se obtuvo de la multiplicación del peso promedio de los granos por la densidad de siembra evaluadas.

Se midió el consumo de agua en $L.m^2$ a partir de la suma de todas las láminas brutas parciales de riego aplicadas al cultivo y en correspondencia con cada uno de los porcentajes estudiados. Además, se evaluó el uso eficiente del agua representado en los $kg.m^{-3}$ de maíz producido, por m^3/ha^{-1} aplicado. Los metros cúbicos totales de agua fueron calculados de acuerdo al número de riego efectuado, las láminas brutas y el porcentaje de área humedecida, todos los valores fueron estimados para una ha de cultivo.

Análisis estadístico

Se realizó la evaluación individual y combinada de los factores en estudio. Las variables morfofisiológicas y productivas fueron evaluadas, mediante un análisis de varianza bifactorial con el programa estadístico (STATGRAPHICS) Statistical Analysis System, aplicando la prueba de Tukey, para la comparación de media, para un nivel de significancia de ($P<0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 6 se muestra el efecto individual y combinado de los factores en estudio con respecto a las variables morfofisiológicas: altura de planta, diámetro del tallo, altura de inserción de mazorca a los 60 días después de la siembra. Con respecto al efecto individual de los factores. El análisis de varianza expresó diferencia significativa entre las medias de las variables evaluadas, tanto para para el porcentaje de las láminas de riego, así como para la densidad de siembra. Las plantas que recibieron el 120% de la lámina bruta alcanzaron una altura media de 243,11 cm, las cuales difieren de las medias del resto de los porcentajes evaluados.

En la variable diámetro del tallo no se presentó diferencia significativa cuando se aplicó 100 y 120% de la lámina bruta, estos porcentajes presentaron diferencias significativas con respecto al 90 y 80% de las láminas requeridas.

Con respecto a la variable altura de inserción de la mazorca, se presentó un comportamiento similar alcanzando la mayor media cuando se aplicó 120 % de la lámina bruta.

Los resultados obtenidos evidencian que cuando se reduce el requerimiento hídrico del cultivo del maíz, determinado a partir de las láminas brutas total y considerado como riego deficitario, se pueden producir afectaciones tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva afectando los parámetros morfofisiológicos como son: la altura, diámetro del tallo e inserción de mazorca Sifuentes *et al.* (2021), señalan que es importante manejar el riego del cultivo de maíz considerando la fenología y la disponibilidad hídrica.

En relación al factor densidad de siembra se presentó un efecto significativo entre las medias de las densidades evaluadas, la mayor media con 233,75 cm se alcanzó con una densidad de 40 000 plantas ha^{-1}. Comportamientos similares presentaron las variables diámetro del tallo e inserción de la mazorca.

Con respecto a la interacción de los factores en estudio, como se aprecia en el cuadro 6 se presentó diferencia significativa entre las medias de las variables diámetro del tallo y altura de inserción de la mazorca. Con respecto al diámetro promedio de los tallos, los tratamientos T1 y T6, (120 y 100% de la lámina bruta total) y densidad de 40 000 plantas por ha, no mostraron diferencias significativas entre ellos, alcanzando las mayores medias con 32,41 y 31,92 mm respectivamente. Sin embargo, estos

tratamientos difieren de los tratamientos T9 y T12 (90 y 80% de la lámina bruta) e igual (densidad de siembre 40 000 plantas.ha^{-1}), lo cual demuestra que, aunque presentan densidades de plantas similares, recibieron el 90 y 80% de la lámina bruta requerida.

Cuadro 6. Variables morfológicas: altura de planta, diámetro del tallo, altura de inserción de mazorca a los 60 días después de la siembra

Efectos individuales los factores en estudio	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Altura de inserción de mazorca (cm)
Porcentaje de la lámina bruta aplicado			
1 Lbt1: (120 % de la Lbt)	243,114 a	29,929 a	128,062 a
2 Lbt2: (100 % de la Lbt)	230,987 b	29,5773 a	120,73 b
3 Lbt3: (90 % de la Lbt)	218,756 c	28,5319 b	118,304 c
4 Lbt4: (80 % de la Lbt)	217,916 c	28,6677 b	118,304 c
Error estándar	0,96	0,10	0,16
Densidad de siembra			
A 66 666 plantas ha	221,727 c	27,6639 c	118,5 c
B 50 000 plantas ha	227,599 b	28,7529 b	121,473 b
C 40 000 plantas ha	233,754 a	31,1126 a	124,078 a
Error estándar	0,83	0,09	0,13
Interacciones			
	NS	*	*
T1 Lbt1 + A	233,903	28,15 efg	119,43 d
T2 Lbt1 + B	243,725	29,21 cd	129 b
T3 Lbt1 + C	251,714	32,41 a	135,38 a
T4 Lbt2 + A	224,699	27,86 fg	118,5 de
T5 Lbt2 + B	231,281	28,94 de	119,65 d
T6 Lbt2 + C	236,982	31,92 a	124 c
T7 Lbt3 + A	214,819	27,28 g	118 e
T8 Lbt3 + B	217,696	28,42 def	118,43 de
T9 Lbt3 + C	223,753	29,88 bc	118,46 de
T10 Lbt4 + A	213,486	27,35 g	118,01 e
T11 Lbt4 + B	217,696	28,42 def	118,43 de
T12 Lbt4 + C	222,567	30,22 b	118,46 de
Error estándar	1,67	0,19	0,27

Letras diferentes en una misma columna expresan diferencias significativas según Tukey para ($p < 0,05$)

Respecto a la variable altura de la inserción de la mazorca, el tratamiento (T3) (120% de la Lbp y 40 000 plantas.ha^{-1} presentó diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos evaluados, alcanzando la mayor media con 135 cm

La respuesta en el comportamiento de las variables morfofisiológicas coincide con lo planteado por Bonilla y Singaña, (2019) y Moran *et al.* (2020) quienes señalan que factores como el requerimiento hídrico y la densidad poblacional definen la respuesta morfológica del maíz. Este resultado se corresponde con lo planteado por Chen *et al.* (2019), quienes señalan que la demanda hídrica del maíz puede considerarse entre los 500 y 800 mm, donde la escasez de agua puede disminuir su rendimiento. La utilización del riego localizado por goteo ayudó a disminuir el volumen de agua a utilizar para el riego del cultivo del maíz, coincidiendo con lo señalado por Wittling *et al.* (2019).

Estos reultados inducen a la necesidad de trabajar en función de lo planteado por Mendoza *et al.* (2016), quienes manifiestan que es importante saber en qué etapas de crecimiento se debe aplicar el riego deficitario para lograr rendimientos óptimos. Los resultados obtenidos coinciden con lo planteado por Guangzhou *et al.* (2020), quienes expresan que la selección óptima de la población en maíz, permite que intercepte y utilice la radiación solar de manera más eficiente, lo que contribuye a un aumento notable en el potencial de rendimiento de grano. También Cao *et al.* (2021), señalan que se deben manejar densidades óptimas para lograr un adecuado proceso fotosintético y con ello garantizar un óptimo desarrollo del grano.

Con la aplicación del 120 y 100% de la Lbp, se obtuvieron valores de alturas de plantas similares a lo reportado por Roca (2019), para el híbrido de maíz Pioneer 4039 quien expresa que este híbrido puede alcanzar altura de planta hasta los 2,33 m, con un rendimiento agrícola de 8,06 t.ha^{-1} de grano seco.

Resultados del comportamiento de las variables productivas

En el cuadro 7 se expone el comportamiento individual de los factores en estudio sobre las variables productivas evaluadas: longitud promedio de las mazorcas en cm (LM), diámetro medio de las mazorcas en cm (DM), número promedio de hileras por mazorcas (NH), peso promedio de los granos por mazorcas en kg (PG) y rendimiento estimado en t.ha^{-1}. El análisis de varianza mostró un efecto significativo de los factores evaluados con respecto a las variables productivas analizadas.

Las variables longitud y diámetro medio de la mazorca, no presentaron diferencias significativas cuando se aplicaron 120 y 100% de la lámina bruta total, alcanzando valores entre los 17,68 y 16,98 cm de longitud y 4,82 y 4,79 cm de diámetro respectivamente. Estos valores difieren significativamente a cuando se aplicó el 80% de la lámina bruta total, donde se alcanzó una longitud media por mazorcas de 14,82 cm y un diámetro medio 3,72 cm.

Cuadro 7. Variables productivas evaluadas

Efectos individuales los factores en estudio	LM (cm)	DM (cm)	NH	PG (kg)	Rendimiento en t.ha^{-1}
Porcentaje de la lámina bruta aplicado					
	*	*	*	*	*
1 (120% de la Lbt)	16,987 ab	4,794 a	15 a	0,232 a	10,446 a
2 (100% de la Lbt)	17,685 a	4,821 a	15 a	0,193 b	8,493 b
3 (90% de la Lbt)	16,576 b	3,972 b	14 b	0,180 b	8,018 b
4 (80% de la Lbt)	14,828 c	3,723 c	13 b	0,125 c	5,636 c
Error estándar	2,87	0,47	0,11	0,0036	0,16
Densidad de siembra					
	NS	NS	*	*	*
A 66 666 plantas/ha	16,5054	4,31901	15 a	0,175 b	10,024 a
B 50 000 plantas/ha	16,6084	4,33821	14 b	0,181 ab	7,816 b
C 40 000 plantas/ha	16,4248	4,32663	14 b	0,192 a	6,604 c
Error estándar	2,48	0,41	0,10	0,0031	0,13

Letras distintas en una misma columna expresan diferencias significativas según Tukey ($p< 0.05$)
Leyenda: Longitud de mazorca en cm (LM), diámetro medio de la mazorca en cm (DM), Número de hileras de granos por mazorcas(NH), peso promedio de los granos por mazorcas en kg (PG) y rendimiento estimado en (t.ha^{-1})

Los resultados evidencian que un déficit en los requerimientos hídricos del cultivo del maíz, tanto en la etapa vegetativa como reproductiva puede conducir a una disminución significativa de las variables productivas como son la longitud de la mazorca, diámetro y número de hileras. Con respecto a la variable peso promedios de los granos, siendo una variable que define el rendimiento final de conjunto con la densidad de siembra, se presentó un efecto significativo cuando se aplicó el 120% de la lámina bruta, con este porcentaje se alcanzó el peso promedio de los granos más altos con 232 g.mazorca^{-1}, los cuales difieren con el resto de los porcentajes evaluados, y donde se alcanzó una diferencia de 107 g.mazorca^{-1} comparados cuando se aplicó el 80% de la lámina bruta total.

Con respecto al rendimiento también se presentó un efecto significativo según los porcentajes de la lámina bruta evaluados, con la aplicación del 120% de la lámina bruta se obtuvo el rendimiento más alto con 10,44 t.ha^{-1} con una diferencia de 4,81 t.ha^{-1} comparado cuando se aplicó el 80% de la lámina total.

El factor densidad de siembra no presentó diferencia significativa para las variables longitud y diámetro de la mazorca, pero si existió un efecto significativo en las variables productivas: número de hileras (NH), peso promedio de los granos por mazorca (PG) y rendimiento estimado en t.ha^{-1}. Con respecto al peso promedio de los granos no se presentó diferencia significativa cuando se evaluaron densidades de 40 000 y 50 000 plantas.ha^{-1}. El mayor peso promedio de los granos se obtuvo cuando se utilizó la densidad de siembra de 40 plantas.ha^{-1} con peso promedio de 192 gramos.

En lo referente al rendimiento, la densidad de siembra de 66 666 plantas.ha^{-1} expresó el mayor rendimiento estimado con 10,02 t.ha^{-1} presentando diferencia significativa con respecto a 50 000 y 40 000 plantas.ha^{-1}. Estos resultados están dados por el factor densidad de plantas ya que con 66 666 plantas.ha^{-1} fue donde se obtuvo el peso promedio de los granos por mazorca más bajo comparado con el resto de las densidades evaluadas.

En el gráfico 1 se expone el resultado de la interacción de los factores en estudio porcentajes de la lámina bruta aplicado y la densidad de plantas sobre la variable del rendimiento estimado en t.ha^{-1} se obtuvo diferencia significativa entre las medias de los tratamientos evaluados, el mayor rendimiento estimado con 13,49 t.ha^{-1}, se alcanzó en el tratamiento T1 cuando se aplicó 120% de la lámina bruta total y se evaluó una densidad de siembra de 66 666 plantas por ha, con una diferencia de 9,24 t..ha^{-1} comparado con el tratamiento T12 donde se aplicó 80% de la lámina bruta total y una densidad de 40 000 plantas ha^{-1}, representando un déficit de agua de un 20% comparado con lámina bruta total aplicada al 100% y de un 40 por ciento comparado cuando se aplicó el 120% de la lámina bruta total.

Estas diferencias muestran que las plantas que fueron manejadas con riego deficitario controlados donde se les aplicó el 80% de la lámina bruta total, recibieron un volumen de agua de 68,4 L.m^2 menos que las que fueron regadas al 100% de la lámina bruta total y comparadas con las plantas que recibieron el 120% de la lámina bruta total se les aplicó 102,6 L.m^{-2} comparadas con las que recibieron el 80% de lámina bruta total. Los resultados obtenidos del rendimiento evidencian que la aplicación del riego deficitario en el hibrido de maíz evaluado puede tener un efecto negativo en el comportamiento productivo del mismo.

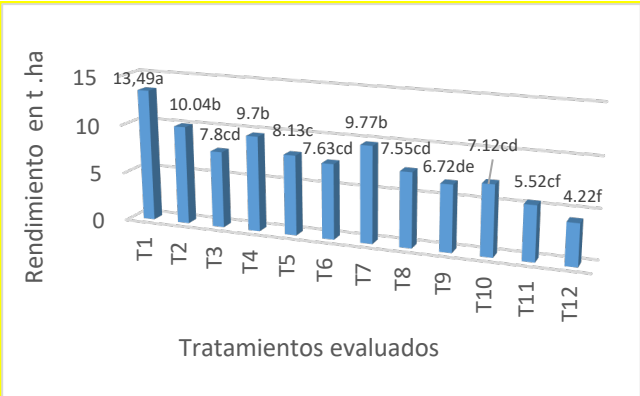


Gráfico 1. Resultados de la interacción porcentajes de la lámina bruta total aplicado y densidad de plantas por hectárea en la variable rendimiento estimado en t.ha-1

Los resultados obtenidos evidencian que bajo las condiciones en las cuales se realizó la investigación con el 120% de la lámina bruta se aplicó una lámina de agua total de 376,31 mm, resultando inferior a los 500 mm que reportan Chen *et al*. (2019), como necesidad para el cultivo del maíz. Los resultados difieren de lo reportado por Wittling *et al.* (2019), quienes señalan que el riego deficitario es una opción que ayuda a minimizar el consumo de agua en el cultivo, al aplicar esta alternativa no resultó una variable positiva debido a la disminución de los rendimientos alcanzados, cuando se aplicó en 90 y el 80% de la lámina bruta total calculada mediante la programación y el uso del software Cropwat.

Los resultados obtenidos también difieren de lo planteado por Mustafa *et al.* (2017), quienes expresan que el riego deficitario presenta rendimientos de granos similares a los alcanzados con el riego completo.

Con base en los hallazgos de Mendoza *et al.* (2016) y dado los resultados del presente estudio, para lograr rendimientos óptimos es importante saber en qué etapas de crecimiento se debe utilizar el riego deficitario.

Citando a Quevedo *et al.* (2015), al evaluar el híbrido impacto, y densidad de 112 500 plantas.ha^{-1} el rendimiento promedio fue de 11,6 t.ha. Así mismo, echando una mirada a los valores reportados por Martínez *et al.* (2017), con 75 000 plantas.ha^{-1}, se obtuvo un rendimiento promedio de 9,07 t.ha^{-1}. Sin embargo, los resultados de este estudio evidencian que en el cultivo de maíz, la técnica de riego localizado por goteo infiere en el uso eficiente del agua y se pueden obtener rendimientos superiores a las 13 t.ha^{-1}.

Con la aplicación del 120% de la lámina total 376,31 L.m^{-2} equivalente a 376,31 mm se obtuvo un resultado superior a lo alcanzado por Roca (2019), quien reportó rendimiento agrícola del hibrido Py 4039 de 8,06 t.ha^{-1} de grano seco.

Cao *et al.* (2021) señalan que es importante tener en cuenta la densidad de siembra, si esta es alta, reduce la transmisión de luz dentro de una población y acelera la senescencia de las hojas, lo cual afecta la fotosíntesis en el cultivo y la distribución de sustancias que limitan el desarrollo del grano.

Los resultados obtenidos evidencian que con una densidad de 66 666 plantas.ha^{-1} y la aplicación de 376,31 mm se pueden obtener rendimientos en el hibrido evaluado superior a las 13 t.ha^{-1}

En el cuadro 8 se expresa la eficiencia en el uso del agua, en función de la tecnología de riego utilizada que fue por goteo. Con las mediciones de la franja húmeda se comprobó que solo se humedeció el 40% del área. Para el análisis de la eficiencia del agua las láminas brutas totales fueron expresadas en m^3.ha^{-1}, y se hicieron los análisis en función de la hectárea. De acuerdo a los tratamientos evaluados se puede observar un incremento del consumo de agua por hectárea en la medida que se aumentó los porcentajes de las láminas de riego. El mayor volumen aplicado fue 1505,2 m^3.ha^{-1}, cuando se evaluó el 120% de la lámina y el menor volumen aplicado correspondió al 80% de la lámina con 1094,7 m^3 ha^{-1}. Como se aprecia, tanto el porcentaje de agua aplicado, como la densidad de siembra tienen incidencia en la eficiencia del uso del agua. Al definir la eficiencia del uso del agua como la relación del rendimiento en t.ha^{-1} con respecto al volumen de agua utilizado en m^3.ha^{-1} se obtuvo que la mejor eficiencia se presentó con el tratamiento T1, 120% de la lámina bruta total y 66 666 plantas.ha^{-1} al obtenerse una relación de 8,98 kg de maíz por m^3 de agua aplicado.

Cuadro 8. Análisis de la productividad del agua estimado en m^{-3}.t de maíz producida

Porcentajes de la lámina bruta total	Rendimiento (kg. ha^{-1})	Consumo de agua (m^3. ha^{-1})	Eficiencia del uso de agua (kg.m^{-3})
T1(120% de la lámina bruta total)	13 490	1505,2	8,98
T2 (120% de la lámina bruta total)	10 400	1505,2	6,92
T3 (120% de la lámina bruta total)	7 800	1505,2	5,19
T4 (100% de la lámina bruta total)	9 700	1368,4	7,08
T5(100% de la lámina bruta total)	8 130	1368,4	5,94
T6 (100% de la lámina bruta total)	7 630	1368,4	5,57
T7 (90% de la lámina bruta total)	9 770	1231,5	7,93
T8 (90% de la lámina bruta total)	7 550	1231,5	6,13
T9 (90% de la lámina bruta total)	6 720	1231,5	5,45
T10 (80% de la lámina bruta total)	7 120	1094,7	6,5
T11 (80% de la lámina bruta total)	5 520	1094,7	5,04
T12 (80% de la lámina bruta total)	4 250	1094,7	3,88

La eficiencia en el uso del agua más baja se obtuvo cuando se aplicó la lámina del 80% de la lámina total con un volumen de agua aplicado de 1094,7 m^3.ha^{-1}, y densidad de 40 000 plantas.ha^{-1} donde se obtuvo el rendimiento más bajo con 4 250 kg.ha^{-1} y una eficiencia en el uso del agua de 3,88 kg.m^3 de agua aplicado con una diferencia de 5.1

kg de maíz producido por m^3 e agua aplicado comparado con el tratamiento del 120% de la lámina y 66 666 plantas.ha.

CONCLUSIONES

Con la aplicación del 120% de la lámina de riego bruta total calculada, equivalente a 376,31 mm y densidad de 66 666 plantas.ha, se alcanzó el rendimiento más alto con 13,49 $t.ha^{-1}$, con una eficiencia en el uso del agua de 8,98 kg de maíz seco duro por m^3 de agua aplicado. Cuando se aplicó el 80% de la lámina bruta total con densidad de siembra de 40 000 $plantas.ha^{-1}$ el rendimiento descendió de forma significativa alcanzando 4,25 $t.ha^{-1}$ y una eficiencia en el uso del agua de 3,88 $kg.m^{-3}$ aplicado, evidenciándose que una reducción en requerimiento hídrico del híbrido de maíz PIONEER 4039 y de la densidad de siembre pueden disminuir de forma significativa el rendimiento del cultivo.

LITERATURA CITADA

Bonilla A. y Singaña, A. 2019. La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador la granja: Revista de Ciencias de la Vida 29(1):70-83.

Cao Yu-jun, W. Li-chan, G Wan-rong, W Yong-jun , Z. Jun-hua1 2021 Increasing photosynthetic performance and post-silking N uptake by moderate decreasing leaf source of maize under high planting densityJournal of Integrative Agriculture 2021, 20(2): 494–510

Carvajal F. y Cepeda, G. 2019. Análisis comparativo de la eficiencia productiva del maíz en Sudamérica y el mundo en las dos últimas décadas y análisis prospectivo en el corto plazo: ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, Vol. 11 Núm. 1: Número especial de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz

Coral J., Andrade, H., Pumisacho, M., Caicedo J. y Salazar, D. 2019. Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la Parroquia Malchinguí: Avances en Ciencias e Ingeniería (ACI): 11(1):40-49.

Chen, Y., Marek, G., Marek, Gowda, P., Xue, Q., Moorhead, J., & Heflin, K. 2019. Multisite evaluation of an improved SWAT irrigation scheduling algorithm for corn (*Zea mays* L.) production in the US Southern Great Plains. Environmental modelling & software, 118: 23-34.

ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua). 2020. Tercer Censo Agropecuario por muestreo. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo: Serie Riego 56 Roma ISBN 92-5-304219-2

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). 2016. Ahorrar para crecer en la práctica maíz, arroz y trigo Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Guía para la Producción Sostenible de Cereales ISBN 978-92-5-308519-4

Grande T. y Orozco, B. 2013. Producción y procesamiento del maíz en Colombia: Revista Científica Guillermo de Ockham, 11(1):97-110

Guangzhou, G., Liu, W., Yang, Y., Guo, X., Zhang, G., Li, J., Xie, R., M, Bo, M., Keru, W., Peng, H. y Li, S. 2020. Marginal superiority of maize: an indicator for density tolerance under high plant density. Scientific reports, 10(1):1-6

Martínez R., Tiago, O. y De Castro G. 2017. Evaluación de la densidad de plantas, componentes fenológicos de producción y rendimiento de granos en diferentes materiales genéticos de maíz: Idesia (Arica), 35(3):23-30.

Mendoza C., Sifuentes, E., Ojeda, W. y Macías, J. 2016. Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation: Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 8(1)

Moran E., Cobos, F., Mora E., Lombeida, R. y Medina L. 2020. Sustentabilidad del sistema de producción de maíz en la localidad de Ventanas, Ecuador: JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH Vol. 5, Núm. CININGEC E-ISSN:2528-8083

Mustafa, S., Vanuytrechtb, E., & Huysmans, M. 2017. Combined deficit irrigation and soil fertility management on different soil textures to improve wheat yield in drought-prone Bangladesh. Agricultural Water Management. 191:124-137.

Quevedo, Y., Barragán, E., y Beltrán J. 2015 Efecto de altas densidades de siembra sobre el híbrido de maíz (*Zea mays* L.) impacto: Scientia Agroalimentaria: 2:18-24.

Rivera R., Moreira, J., Moreira, Moreira, C. y Cevallos, J. 2020. Respuesta del cultivo de *Capsicum annuum* L.

Alriego deficitario etapa inicial y de desarrollo: ESPAMCIENCIA, 11(2):88-94.

Roca, C. 2019. Respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias en la parroquia La Esperanza del cantón Quevedo. Quevedo-UTEQ, 88 p.

Sifuentes E., Ojeda, W., Macías, J., Mendoza, C. y, Preciado P. 2021. Déficil hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua: Agrociencia, 55(3):1

Wittling C., Molle, B. y Cheviron B. 2019 Wittling C., Molle, B. y Cheviron B. Plot level assessment of irrigation water savings due to the shift from sprinkler to localized irrigation systems or to the use of soil hydric status probes. Application in the French context. Agricultural Water Management, Elsevier Masson, 223

Wu, Y., Du, T., Yuan, Y., & Shukla, M. K. 2018. Stable isotope measurements show increases in corn water use efficiency under deficit irrigation. Scientific reports, 8(1):14113

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

CALIDAD DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ Y TEMPERATURAS DE CONSERVACIÓN

QUALITY OF YELLOW PITAHAYA (*Selenicereus megalanthus*) IN DIFFERENT STATES OF MATURITY AND STORAGE TEMPERATURES

Annabell Eloísa Vera Vera[1], Yenny Alexandra López Vera[1], Saskia Valeria Guillen Mendoza[1], Sofía del Rocío Velásquez Cedeño[1], Cristian Fernando Chila Chila[1]

[1]Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López, calle 10 de agosto N° 82 y Granda Centeno, Calceta, Manabí, Ecuador.

Email: sguillen@espam.edu.ec

Información del articulo

Tipo de artículo:
Nota técnica

Recibido:
25/01/2021

Aceptado:
10/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):141-151

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.233

Resumen

En la presente investigación se evaluó el efecto de tres estados de madurez (inicial, media y completa) sobre las propiedades físicoquímicas de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), en dos temperaturas de conservación (zonas cálidas 26,8ºC y controlada 20ºC). Las variables registradas fueron: peso del fruto (g), diámetro (mm), firmeza (newtons/cm^2), sólidos solubles (grados Brix°), pH y acidez titulable. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y separación de medias con prueba de Tukey al 5%. El estado de madurez inicial a temperatura controlada presentó la menor reducción de peso (125,04 g), pH (4,18) y mayor reducción de la acidez (17,0) y firmeza (6,0 N/cm^2) a excepción del diámetro (57,5mm) y sólidos solubles (16,9 Brix°) que presentaron mejores resultados en los frutos cosechados a madurez completa en temperatura controlada.

Palabras clave: Pitahaya amarilla, estados de madurez, temperaturas, calidad postcosecha.

Abstract

In the present investigation, the effect of three stages of maturity (initial, medium and complete) on the physicochemical properties of the fruits of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) was evaluated, in two storage temperatures (warm zones 26.8ºC and controlled 20ºC). The variables recorded were: fruit weight (g), diameter (mm), firmness (newtons / cm^2), soluble solids (degrees Brix °), pH and titratable acidity. The data was subjected to an analysis of variance and separation of means with the Tukey test at 5%. The initial state of maturity at controlled temperature presented the least weight reduction (125.04 g), pH (4.18) and the greatest reduction in acidity (17.0) and firmness (6.0 N/cm^2) except diameter (57.5mm) and soluble solids (16.9 Brix°) that presented better results in the fruits harvested at full maturity at controlled temperature.

Keywords: Yellow pitahaya, maturity stages, temperatures, postharvest quality.

INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), es una planta rústica de la familia cactácea, es conocida mundialmente como "la fruta del dragón". El fruto presenta características físicas y químicas de acuerdo a la especie, pueden ser diversas como: la presencia de espinas, color de piel y de la pulpa, sólidos solubles y pH (Jiménez *et al*. 2017). Esta fruta tiene gran potencial industrial a nivel mundial debido a su alto contenido de propiedades y son considerados una gran ventaja para la agroindustria lo cual ha incrementado el interés internacional por este cultivo para la comercialización como para la búsqueda de alternativas y procesamientos de diversos productos, sin embargo las perspectivas del mercado internacional requieren de investigaciones que

lleven a elevar la calidad de la fruta, genotipos élite para la siembra y manejo en la cadena productiva (Montesinos *et al*. 2015).

La pitahaya amarilla cultivada en Ecuador es vista como una nueva opción de producción agrícola, elevando el nivel de vida de los agricultores; con el fin de desplegar una mayor diversificación en el mercado internacional, para dar a conocer la pitahaya como una fruta con alto potencial de comercialización e industrialización (Aguilar, 2015).

Ecuador dispone aproximadamente de 1528 hectáreas de pitahaya con un rendimiento promedio de 7,6 t/ha. En la Amazonía ecuatoriana, específicamente en la provincia de Morona Santiago la transición rápida de pitahaya (ecotipo "Palora") de planta silvestre a cultivo comercial ha provocado problemas de manejo agronómico y postcosecha (Vargas *et al*., 2020).

Son pocas las frutas que se conocen y forman parte la dieta diaria, sin embargo, la variedad de estos alimentos es muy amplia, entre los frutos que han tomado un realce en la última década se nombra a la pitahaya (Huachi *et al*. 2015).

La información que existe en el país es escasa especialmente en la provincia de Manabí sobre la calidad de esta fruta, sin embargo, estudios realizados han determinado que los frutos de pitahaya ecotipo Palora maduros presentan valores altos en firmeza, acidez titulable, sólidos solubles, pH, vitamina C, capacidad antioxidante y polifenoles totales; siendo la mayor cantidad de fruta exportable con mínimas pérdidas postcosecha (1,5 %) (Sotomayor *et al*. 2019).

Además, se destaca que la vida útil de la pitahaya amarilla es relativamente corta, para su consumo en fresco o procesado, por lo cual se deben desarrollar investigaciones que ofrezcan alternativas de conservación para mejorar la calidad y el tiempo en percha, permitiendo así que la pitahaya mantenga su sabor, aroma y su peculiar efecto laxante (Dueñas *et al*. 2009).

Los parámetros utilizados en investigaciones para determinar la calidad de la fruta son: peso total del fruto, peso de la cáscara (pericarpio), peso de la pulpa y semilla, sólidos solubles totales (SST) en el jugo, pH y acidez titulable (relación ºBrix/Acidez), porcentaje de azúcares totales, Vitamina C, contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante (DPPH) y color (Balderas *et al*., 2016)

Entre los factores del manejo tras la cosecha, los más importantes son grado de madurez al momento de la cosecha, temperatura, humedad relativa, composición de la atmósfera (Magaña *et al*., 2013).

En estudios realizados por Sotomayor *et al*. (2019) el fruto pesa aproximadamente 331.6 g y cuenta con un diámetro polar en estados de cosecha temprano de 82. mm y en estados tardíos de 75.3 mm y una longitud de 12 cm del fruto de y un diámetro en épocas tempranas de 82.9 mm y tardías 75,3 mm.

Garcia *et al*. (2008), describe que la firmeza en escala de 0 a 6 en estados de madurez es generalmente es de 17,77 N y 6,20 N y que la cantidad de sólidos solubles totales obtenidas en época inicial del fruto es de 20.1 ºBrix. Mientras que la acidez titulable en época temprana de cosecha es de 0,12 en época tardía es de 0,10, además el pH es de 4,4 a 4,7 en época de cosecha temprana y en madurez de 3,7 a 4,8

Con base en los estudios anteriores y considerando que existen pocos reportes de este tipo de estudio en la provincia de Manabí, la investigación tuvo el objetivo de evaluar el efecto de tres estados de madurez inicial (1), medio (3) y completo (5) (figura 2), sobre las propiedades físicoquímicas de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenecereus megalanthus*) en dos temperaturas de conservación (ambiente 26,8C° y controlada 20ºC).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Los frutos utilizados para este ensayo fueron cosechados en la hacienda EL OKASO, localizada en el sitio La Papaya perteneciente al cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí, ubicada geográficamente en las coordenadas 0° 52' 48'' latitud Sur y 80° 23' 02'' longitud Oeste, a una altitud entre 17msnm. La investigación se realizó en los meses de enero y febrero de 2020, en el Laboratorio de postcosecha de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

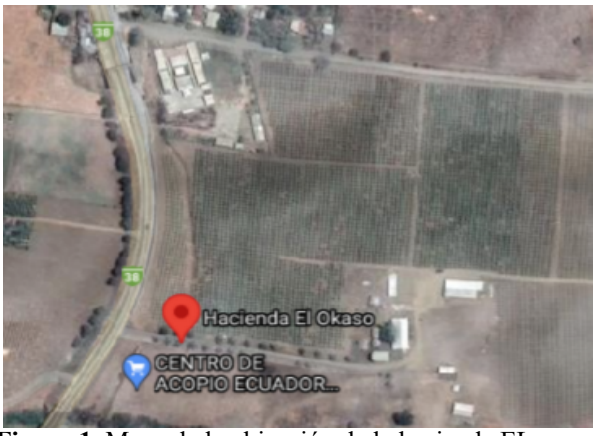


Figura 1. Mapa de la ubicación de la hacienda EL OKASO
Fuente: Google Maps, 2020

Clasificación de frutos

Los frutos se cosecharon en el mes de enero del 2020 y se trasladaron en gavetas al laboratorio de postcosecha de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, en donde fueron clasificados con base en los estados de madurez de acuerdo a la carta de color (figura 2). Se escogieron frutos en los grados 1, 3 y 5 (madurez inicial, media y completa).

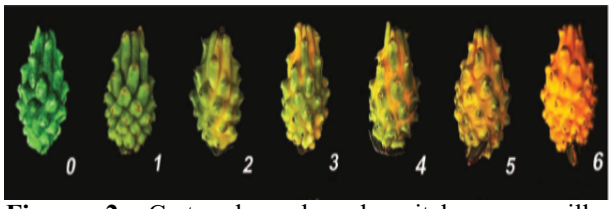


Figura 2. Carta de color de pitahaya amarilla (*Selenecereus megalanthus*)
Fuente: Guerrero (2014)

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial A x B, en donde el factor A corresponde al grado de madurez y el factor B corresponde a la temperatura en la que se realizó el experimento, teniendo como resultado seis tratamientos (Cuadro 1), se realizaron cuatro réplicas para cada tratamiento, las cuales estuvieron conformadas por 15 frutos por réplica. Los datos se registraron a los 0, 3, 6, 9 y 12 días después de la cosecha, en cada evaluación se destruyeron 3 frutos al azar de cada réplica para el registro de variables químicas obteniendo 15 frutos por tratamiento para cada evaluación y para las físicas se evaluó los mismos tres frutos por réplica a los 0, 3, 6, 9 y 12 días.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos para el ensayo calidad de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de madurez y temperaturas de conservación

Nº de tratamientos	Descripción
1	Madurez Inicial + Temperatura Ambiente 26,8 C° (MI+TA).
2	Madurez Media + Temperatura Ambiente 26,8 C° (MM+TA).
3	Madurez Completa + Temperatura Ambiente 26,8 C° (MC+TA).
4	Madurez Inicial + Temperatura Controlada 20 C° (MI+TC).
5	Madurez Media + Temperatura Controlada 20 C°(MM+TC).
6	Madurez Completa + Temperatura Controlada 20 C° (MC+TC).

Análisis de datos

Los datos de las evaluaciones se sometieron a un análisis de varianza y separación de medias con prueba de Tukey al 5%, utilizando el programa estadístico INFOSTAT versión 2019.

Análisis físicos

Para la evaluación del peso, diámetro y firmeza se escogieron los respectivos frutos a evaluar y se procedió con el registro de las variables ya mencionadas. Para obtener el peso se utilizó una balanza digital (Shimadzu ELB3000, Japón), con una sensibilidad de 0,1 g. Para la variable diámetro se utilizó un calibrador vernier (Stainless Helios Hardened Throughout, Alemania). La firmeza fue registrada con un durómetro no destructivo (Turoni, 53215TT, escala 0-100 Shore, Italia) cada tres días.

Análisis químicos

Para las variables sólidos solubles, pH y acidez titulable, se evaluaron 12 frutos por tratamiento. Para medir el contenido de solidos solubles totales se colocó una gota en un refractómetro manual ATAGO® (Japón), expresando los sólidos solubles totales en grados Brix. El pH se tomó ubicando el jugo de cada fruta en un vaso de precipitación al cual se le introdujo un electrodo marca Oakton 700, Estados Unidos. Para medir la acidez titulable se colocó 50 mL del jugo en una alícuota al cual se le añadió 3 gotas de fenolftaleína (indicador), y por medio de una bureta con NaOH 0,1 N (titulador) se agitó hasta alcanzar un cambio de color (rosado purpura), para esto se empleó el método de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso (g)

El peso del fruto presentó una reducción lineal en el tiempo, independientemente de la temperatura y los estados de madurez estudiados (cuadro 2). De acuerdo con el modelo de regresión lineal el mayor ritmo de pérdida de peso se dio en el estado de madurez completa en temperatura controlada con 1,84 g, mientras que en los estados de madurez inicial y media en temperatura controlada fue de 1,81 y 1,51 g/día; en temperatura ambiente la mayor pérdida fue en el estado de madurez media con 1,64 gr, a diferencia de la madurez inicial y completa con 1,61 y 1,61 gr, respectivamente. Resultados similares de Sotomayor *et al*. (2019) en pitahaya amarilla obtuvieron diferencias estadísticas significativa para la variable peso de fruto similares a esta investigación, además mencionan que el peso fresco de la fruta aumenta conforme avanzan los distintos estados fenológicos. Otros resultados reportados por Jiménez *et al*. (2017), quienes no observaron diferencias significativas en pérdida de peso para frutos de pitahaya amarilla entre los diferentes tratamientos en cuanto a las variables de temperatura, reportaron que al ambiente (promedio 17°C) los frutos perdieron un promedio del 12.5% de peso y en temperatura controlada (6±2°C) mostraron una pérdida

promedio del 8.2% en los tres estados de madurez. Por lo consiguiente, Alvarado (2014) observó diferencias estadísticas significativas en pitahaya amarilla, demostrando que durante la maduración postcosecha existe una reducción de peso de entre 9 y 10g entre cada periodo de evaluación de la fruta. Verificando que sí existe una diferencia de peso de 49,6 g desde que la fruta ha sido cosechada hasta 15 días después, correspondiendo al 16,98% del peso de la fruta.

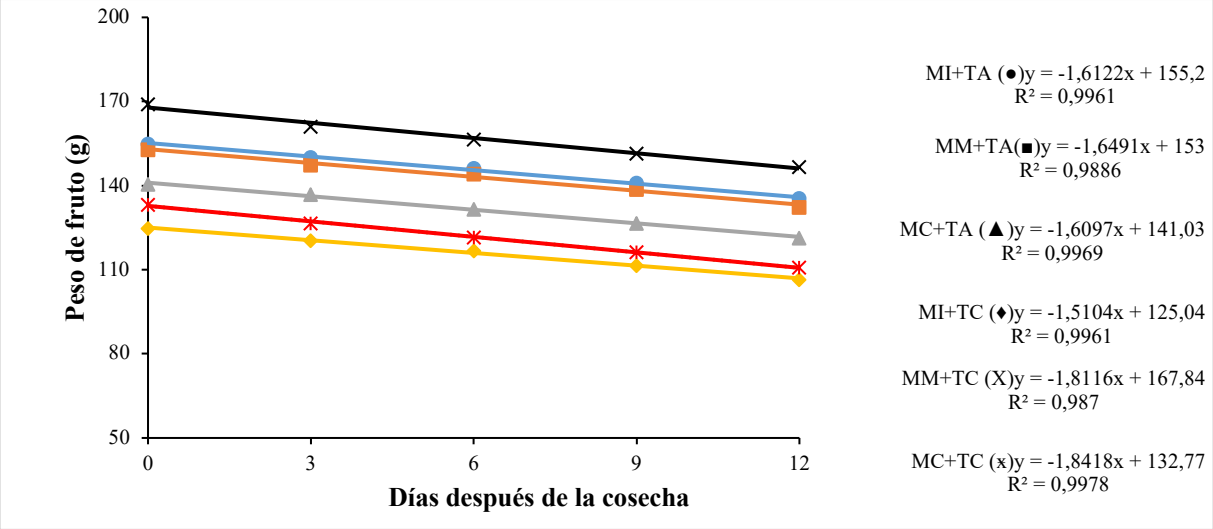


Gráfico 1. Pérdida del peso en frutos de pitahaya amarilla cosechados en tres estados de madurez, bajo condiciones de temperatura ambiente y controlada

Cuadro 2. Medias de peso de fruto (gr) de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus*), letras diferentes en el día de evaluación representan separación de medias significativas de acuerdo al test de Tukey al 95% de confianza.

		Peso de fruto (gr)				
Tratamiento		**Día 0**	**Día 3**	**Día 6**	**Día 9**	**Día 12**
MI+TA		155 ab	150,1 ab	146,21 ab	140,97 ab	135,36 ab
MM+TA		152,8 ab	147,34 ab	144,23 ab	138,75 ab	132,39 ab
MC+TA		140,5 ab	136,75 ab	131,59 ab	126,61 ab	121,42 ab
MI+TC		124,75 b	120,38 b	116,689 b	111,58 b	106,49 b
MM+TC		169,1 a	161,03 a	156,55 a	151,57 a	146,64 a
MC+TC		133,2 ab	126,61 ab	121,64 ab	116,33 ab	110,76 ab
Probabilidad		0,015*	0,0195*	0,0141*	0,0272*	0,0232*
Factores	**Niveles**					
Estados de madurez (A)	Inicial	139,87 b	135,23 ab	131,45 ab	126,27 ab	120,93 ab
	Medio	160,9 a	154,18 a	150,39 a	145,17 a	139,52 a
	Completo	136,87 b	131,68 b	126,62 b	121,47 b	116,09 b
Temperatura (B)	Ambiente	149,44	144,72	140,68	135,44	129,73
	Controlada	142,36	136,01	131,63	126,49	121,30
Probabilidad	Factor A	0,0177*	0,0258*	0,0167*	0,0289*	0,027*
	Factor B	0,3056 NS	0,2022NS	0,1727NS	0,2134NS	0,2293NS
C.V (%)		11,28	11,48	11,47	12,98	13,21

Diámetro del fruto (mm

El diámetro del fruto presentó un comportamiento ligeramente descendente en las dos temperaturas y los diferentes estados de madurez (cuadro 3). En el gráfico 2 se observa que el diámetro disminuyó 0,62; 0,66 y 0,71 mm en los frutos con madurez inicial, media y completa, respectivamente, en temperatura ambiente; mientras que en temperatura controlada la reducción fue de 0,65 mm en madurez inicial, 0,63 mm en madurez media y 0,60 mm en madurez completa. Para García y Robayo (2008) que evaluaron el uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitahaya amarilla evidenciaron una reducción del diámetro en un 6 a 8%. En la Norma NTE-INEC-025 se describe que los frutos de pitahaya amarilla que son aptos para ser comercializados en mercados internacionales oscilan entre 8 y 12 cm.

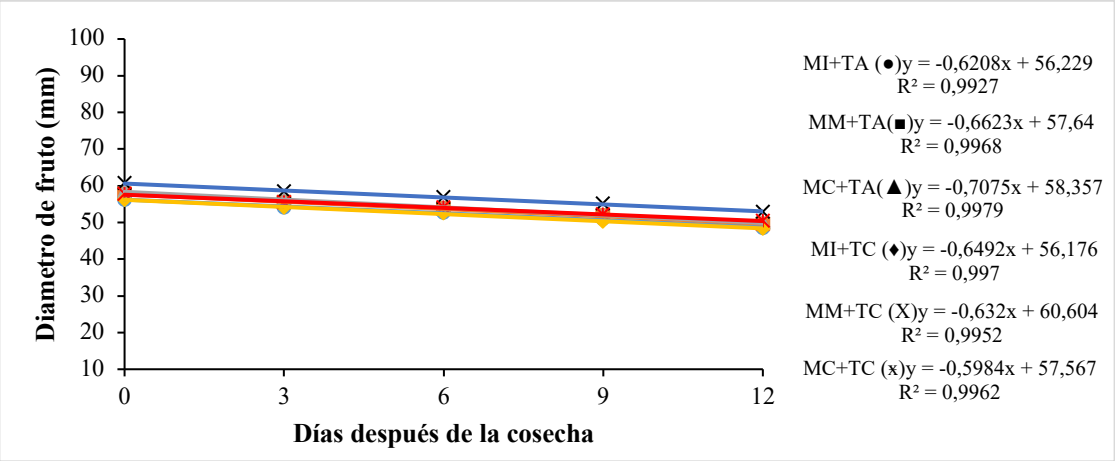


Gráfico 2. Pérdida del diámetro en frutos de pitahaya amarilla cosechados en tres estados de madurez, bajo condiciones de temperatura ambiente y controlada

Cuadro 3. Medias de diámetro de fruto (mm) de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus*), letras diferentes en el día de evaluación representan separación de medias significativas de acuerdo al test de Tukey al 95% de confianza.

		Diametro de fruto (mm)				
Tratamiento		**Día 0**	**Día 3**	**Día 6**	**Día 9**	**Día 12**
MI+TA		56,20	54,15	52,75	50,91	48,51
MM+TA		57,69	55,44	53,78	51,88	49,54
MC+TA		58,54	56,10	53,92	52,04	49,96
MI+TC		56,17	54,09	52,57	50,24	48,35
MM+TC		60,69	58,44	56,93	55,14	52,86
MC+TC		57,72	55,49	54,11	52,15	50,41
Probabilidad		0,0856NS	0,1072 NS	0,1241 NS	0,0651 NS	0,1073 NS
Factores	**Niveles**					
Estados de madurez (A)	Inicial	56,18 b	54,12	52,66	50,57 b	48,43
	Medio	59,19 a	56,94	55,36	53,51 a	51,20
	Completo	58,13 ab	55,79	54,02	52,09 ab	50,18
Temperatura (B)	Ambiente	57,48	55,23	53,49	51,61	49,34
	Controlada	58,19	56,00	54,54	52,51	50,54
Probabilidad	Factor A	0,0468*	0,0625NS	0,0789NS	0,0484*	0,0721NS
	Factor B	0,452NS	0,4085NS	0,2658NS	0,3273NS	0,2112NS
C.V (%)		3,82	3,92	4,08	4,05	4,49

Firmeza (NÉWTONES/ cm²)

En el gráfico 3, se observa que la firmeza disminuyó en el tiempo en los tres estados de madurez y temperaturas probados, donde hubo una pérdida de 0,18; 0,21 y 0,21 N/cm² en los estados de madurez inicial, media y completa en temperatura ambiente, respectivamente; y, una pérdida de 0,33; 0,27 y 0,28 N/cm² en los estados de madurez inicial, media y completa en temperatura controlada, correspondientemente (cuadro 4).

Investigación realizada por Guerrero (2014), indicó que la consistencia de los frutos se redujo durante el tiempo de almacenamiento. Resultados similares expresó García y Robayo (2008), donde el grado de maduración de la fruta, presentó una diferencia significativa tanto a 10°C como a 20°C por lo que la dureza fue disminuyendo hasta caer por debajo del 50% de su valor inicial al cabo de 20 días de almacenamiento. Serna *et al.* (2011) demostró que los frutos de pitahaya amarilla en estado de madurez 3 almacenados a 10C°, disminuyen aproximadamente 54,1% de firmeza inicial a los 15 días de almacenamiento.

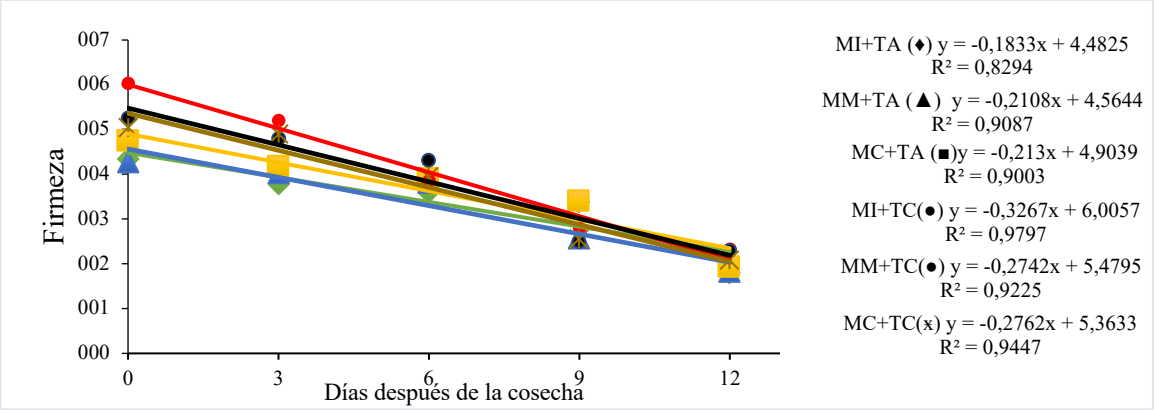


Gráfico 3: Pérdida de la *firmeza* en frutos de pitahaya amarilla cosechados en tres estados de madurez, bajo condiciones de temperatura ambiente y controlada.

Cuadro 4. Medias de firmeza de fruto de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus),* letras diferentes en el día de evaluación representan separación de medias significativas de acuerdo al test de Tukey al 95% de confianza.

		Firmeza				
Tratamiento		**Día 0**	**Día 3**	**Día 6**	**Día 9**	**Día 12**
MI+TA		4,35 b	3,78 b	3,38	3,7 a	1,62
MM+TA		4,27 b	4,02 ab	3,80	2,57 c	1,83
MC+TA		4,74 b	4,17 ab	3,89	3,65 ab	1,93
MI+TC		6,03 a	5,20 a	3,85	2,80 bc	2,33
MM+TC		5,26 ab	4,81 ab	4,31	2,59 c	2,56
MC+TC		5,049 ab	4,9 ab	3,95	2,55 c	2,08
Probabilidad		0,0012*	0,0168*	0,0825 NS	0,0003*	0,1516 NS
Factores	**Niveles**					
Estados de madurez (A)	Inicial	5,19	4,49	3,62	3,26 a	1,98
	Medio	4,76	4,41	4,07	2,58 b	2,19
	Completo	4,89	4,54	3,92	3,1 ab	2,01
Temperatura (B)	Ambiente	4,45 b	3,99 b	3,69	3,32 a	1,79 b
	Controlada	5,45 a	4,97 a	4,04	2,65 b	2,3 a
Probabilidad	Factor A	0,335 NS	0,9065 NS	0,0899 NS	0,0185*	0,6442 NS
	Factor B	0,0004*	0,0005*	0,0397*	0,0018*	0,0169*
C.V (%)		10,33	13,04	10	12,95	24,4

Sólidos solubles totales (° Brix)

En el gráfico 4, el comportamiento de los grados Brix en temperatura ambiente disminuyó a un ritmo de 0.02, 0.04 y 0.03 grados Brix/día, en los frutos con madurez inicial, media y completa, respectivamente. Mientras que, en temperatura controlada la pérdida de grados Brix en madurez inicial fue 0.22, media de 0.14 y completa de 0.01 ºBrix (Cuadro 5).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Jiménez *et al.* (2017), quienes no observaron diferencias significativas en cuanto a la concentración de sólidos solubles totales (ºBrix) en los tratamientos almacenados al ambiente y al frío, ni entre los diferentes estados de madurez. Tampoco observaron una tendencia concreta, ya que existían mediciones en las que aumentaban y otras disminuían. A su vez Vásquez-Castillo *et al.* (2016) describió que en la variedad Palora registró mayor cantidad de sólidos solubles totales (SST) que la variedad Nacional con 20,1 y 17,9 °Brix, respectivamente; mientras que los frutos cosechados tempranamente tuvieron mayores SST que los cosechados tardíamente.

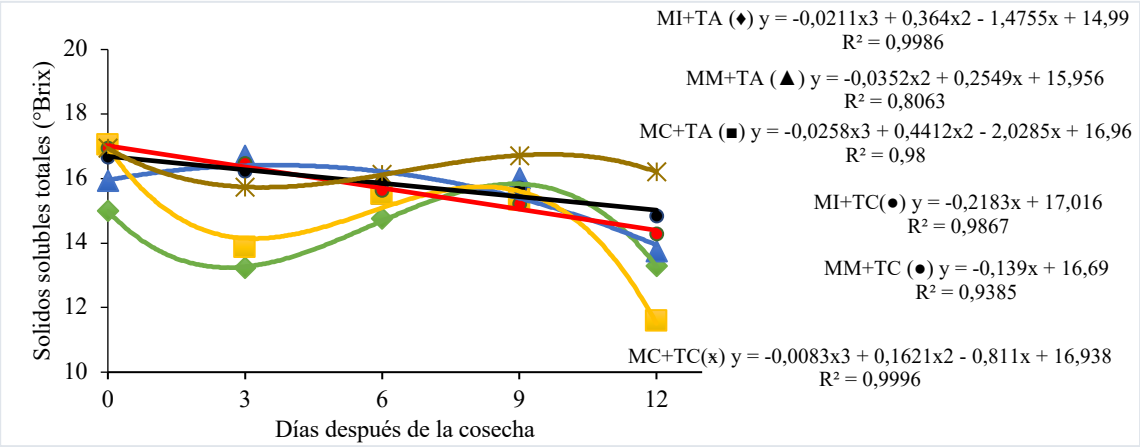


Gráfico 4: Comportamiento de °Brix en frutos de pitahaya amarilla cosechados en tres estados de madurez, bajo condiciones de temperatura ambiente y controlada.

Cuadro 5 Medias de solidos solubles totales °Brix de fruto de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus)*, letras diferentes en el día de evaluación representan separación de medias significativas de acuerdo al test de Tukey al 95% de confianza.

		Grado Brix				
Tratamiento		**Día 0**	**Día 3**	**Día 6**	**Día 9**	**Día 12**
MI+TA		15 b	13,22	14,74	15,79	13,29
MM+TA		15,91 ab	16,7	15,54	16,00	13,74
MC+TA		17,02 a	13,86	15,51	15,33	11,58
MI+TC		16,94 ab	16,45	15,62	15,21	14,29
MM+TC		16,66 ab	16,22	15,85	15,70	14,83
MC+TC		16,42 ab	15,73	16,12	16,71	16,21
Probabilidad		0,0155*	0,0678NS	0,7744NS	0,1828NS	0,3249NS
Factores	**Niveles**					
Estados de madurez (A)	Inicial	15,97	14,84	15,18	15,50	13,79
	Medio	16,28	16,46	15,70	15,85	14,29
	Completo	16,72	14,80	15,81	16,02	13,89
Temperatura (B)	Ambiente	15,98	14,59	15,26	15,70	12,87
	Controlada	16,67	16,13	15,86	15,87	15,11
Probabilidad	Factor A	0,2896NS	0,1739NS	0,5736NS	0,5187NS	0,9318NS
	Factor B	0,0832NS	0,0659NS	0,2525NS	0,6574NS	0,0634NS
C.V (%)		4,78	11,98	8,45	5,2	19,81

pH

El pH presentó un comportamiento ascendente en los frutos en temperatura controlada, mientras que en temperatura ambiente su comportamiento es descendente mayormente a partir del día 6 (Cuadro 6). En el gráfico 5, se observa que el pH disminuyó 0.004, 0.02 y 0.01 en los frutos con madurez inicial, media y completa, respectivamente, en temperatura ambiente; mientras que en temperatura controlada fue de 0.04 en madurez inicial, 0.64 en madurez media y 0.03 en madurez completa.

Resultados similares presentó Sotomayor *et al*. (2019), quienes obtuvieron un aumento de del pH en los estados de madurez 0 al 6. Además, García y Robayo (2008) evidenciaron que la fruta inmadura (estado 0) obtuvo un pH de 4.05, mientras que fruta madura presentó un valor de 4.7, estos datos concuerdan con los de esta investigación. A su vez Noboa (2016), quien probó el efecto de irradiación de rayo gamma sobre en la calidad postcosecha de la pitahaya amarilla, reportó que en el estado de madurez 4 alcanzó 4,86 mientras que en estado 5 de madurez obtuvo 5,06.

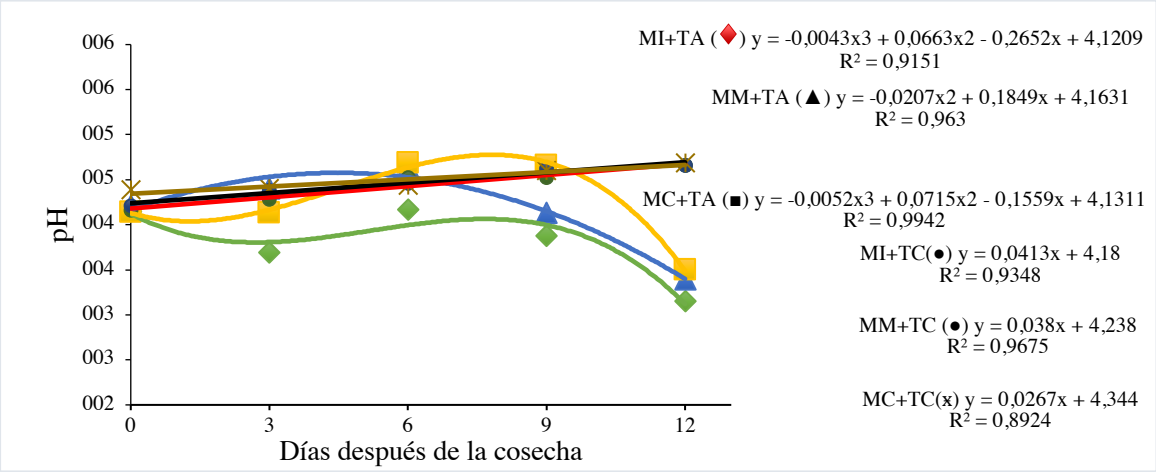


Gráfico 5. Comportamiento del pH en frutos de pitahaya amarilla cosechados en tres estados de madurez, bajo condiciones de temperatura ambiente y controlada.

Cuadro 6. Medias de pH de fruto de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus),* letras diferentes en el día de evaluación representan separación de medias significativas de acuerdo al test de Tukey al 95% de confianza.

		pH				
Tratamiento		**Día 0**	**Día 3**	**Día 6**	**Día 9**	**Día 12**
MI+TA		4,15	3,68	4,16	3,87	3,15
MM+TA		4,21	4,40	4,64	4,12	3,39
MC+TA		4,14	4,13	4,68	4,66	3,49
MI+TC		4,15	4,27	4,52	4,52	4,65
MM+TC		4,21	4,37	4,45	4,62	4,65
MC+TC		4,38	4,40	4,43	4,60	4,69
Probabilidad		0,2693NS	0,2219NS	0,3682NS	0,5782NS	0,0453NS
Factores	**Niveles**					
Estados de madurez (A)	Inicial	4,15	3,98	4,34	4,19	3,9
	Medio	4,21	4,34	4,55	4,37	4,02
	Completo	4,26	4,26	4,56	4,63	4,09
Temperatura (B)	Ambiente	4,17	4,07	4,49	4,22	3,35
	Controlada	4,25	4,35	4,47	4,58	4,67
Probabilidad	Factor A	0,411NS	0,1944NS	0,4177NS	0,4872NS	0,8955NS
	Factor B	0,2293NS	0,141NS	0,8568NS	0,2323NS	0,0008*
C.V (%)		3,71	10,52	7,64	16,6	21,65

Acidez titulable

La acidez titulable del fruto presentó un comportamiento descendente en los dos tipos de temperatura y los diferentes estados de madurez. Los resultados de este análisis se consideraron a partir del día 3 del periodo de evaluación, donde los estados de madurez inicial y media en temperatura controlada alcanzaron la mayor acidez durante los tiempos evaluados (Cuadro 7). En el gráfico 6, se observa que la acidez en temperatura ambiente disminuyó en 0.0008, 0.0005 y 0.0008 en los frutos con madurez inicial, media y completa, respectivamente; mientras que en temperatura controlada la reducción fue de 0.22 en madurez inicial, 0.14 en madurez media y 0.0001 en madurez completa.

Estos resultados concuerdan por los presentado por Sotomayor *et al*. (2019), quienes demostraron que la acidez titulable disminuye con los estados de madurez y el tiempo de almacenamiento.

Mientras que Rodríguez *et al*. (2005) obtuvieron resultados que difieren con esta investigación, los cuales demuestran que la acidez titulable en el grado de madurez de cosecha hasta el día 9 del almacenamiento el cual fue más evidente, mientras que la temperatura no mostró diferencias significativas. A su vez Dueñas *et al.* (2008) mencionó que frutos almacenados a 18°C tienen una tendencia hacia la disminución en la acidez total titulable (ATT) bastante pronunciada durante los primeros 3 días de almacenamiento donde el mayor cambio se observó durante los primeros días y está relacionado con la alta respiración que manifiestan los frutos de pitahaya.Yi-Lu-J *et al.* (2011) encontró que la acidez titulable expresada como ácido cítrico se redujo durante el almacenamiento en frutas en grado de maduración 4, presentado valores más bajos de acidez titulable en referencia a los tipos de temperaturas de almacenamiento probado

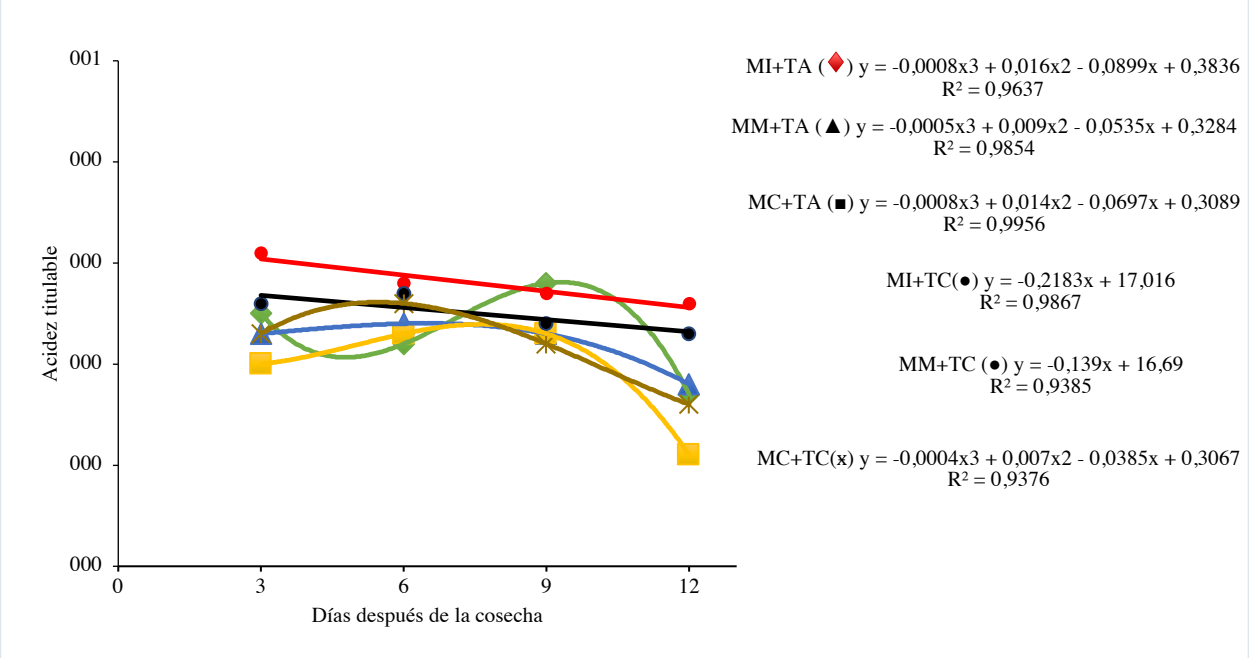


Gráfico 6: Comportamiento de la acidez titulable en frutos de pitahaya amarilla cosechados en tres estados de madurez, bajo condiciones de temperatura ambiente y controlada.

Cuadro 7. Medias de acidez titulable de fruto de pitahaya amarilla *(Selenicereus megalanthus),* letras diferentes en el día de evaluación representan separación de medias significativas de acuerdo al test de Tukey al 95% de confianza.

		Acidez titulable				
Tratamiento		**Día 0**	**Día 3**	**Día 6**	**Día 9**	**Día 12**
MI+TA		0,37	0,24	0,22	0,27	0,17
MM+TA		0,32	0,22	0,23	0,22	0,17
MC+TA		0,31	0,20	0,22	0,23	0,15
MI+TC		0,35	0,31	0,27	0,26	0,25
MM+TC		0,31	0,26	0,27	0,24	0,23
MC+TC		0,30	0,23	0,26	0,22	0,16
Probabilidad		0,61NS	0,0899NS	0,0249*	0,146NS	0,1162NS
Factores	**Niveles**					
Estados de madurez (A)	Inicial	0,36	0,28	0,24	0,27	0,21
	Medio	0,32	0,24	0,25	0,23 b	0,20
	Completo	0,31	0,22	0,24	0,23 b	0,16
Temperatura (B)	Ambiente	0,34 a	0,22 b	0,23 b	0,25 a	0,17 b
	Controlada	0,32 a	0,27 a	0,27 a	0,24 a	0,22 a
Probabilidad	Factor A	0,1936NS	0,0608NS	0,7384NS	0,0204*	0,1266NS
	Factor B	0,5648NS	0,0333*	0,0005*	0,7545NS	0,0346*
C.V (%)		19,94	19,95	10,76	13,76	30,39

CONCLUSIONES

Los factores de madurez y temperatura no influyeron estadísticamente en los diferentes tratamientos evaluados, pero los frutos en los diferentes estados de madurez inicial, media y completa a temperatura ambiente y controlada presentaron disminución en la variable peso, diámetro y firmeza.

El estado de madurez inicial a temperatura controlada presentó la menor reducción de peso, pH y mayor reducción de la acidez y firmeza a excepción del diámetro y sólidos solubles que presentaron mejores resultados en los frutos cosechados a madurez media en temperatura controlada durante el periodo de evaluación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Hacienda El Okaso, a Don Olvin Intriago, Ing. Katty Ormaza y Afranio Esmeralda, por el apoyo técnico y logístico brindado en la presente investigación.

LITERATURA CITADA

Aguilar, G. 2015. Evaluación de tres enraizantes y dos tamaños de cladodios en la propagación asexual de pitahaya amarilla *Cereus triangularis* (L.) Haw., en Yantzaza. Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Loja. Loja, EC. p 116.

Alvarado, J. 2014. Caracterización postcosecha de la calidad del Fruto de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) y Roja (*Hylocereus undatus*). Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad de Guayaquil. Guayas, EC. p 80.

Balderas, V., Palafox, L., Castro, AS., Saucedo, C. 2016. Evaluación de las propiedades físicas y calidad organoléptica y nutricional de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*). Rev. Iberoam Cienc. 3(7):86-92.

Dueñas, G., Narváez, C., Restrepo, S. 2008. Inhibición de lesiones por frío de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) a través del choque térmico: catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasa. Acta Biol. Colomb. 13:95-106.

Dueñas, Y., Narváez, C., Restrepo, S. 2009. El choque térmico mejora la aptitud al almacenamiento refrigerado de pitaya amarilla. Rev. Agronomía Colombiana. 27 (1): 105-110.

García, M., Robayo, P. 2008. Evaluación del uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitaya amarilla (*Selinecereus*

megalanthus Shuman). Rev. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 9 (1):30-39.

Guerrero, M. 2014. Estudio del manejo postcosecha de pitahaya amarilla (*Selenecereus megalanthus*) procedente del Cantón Pedro Vicente Maldonado de la Provincia de Pichincha. Tesis. Ing. Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Pichincha, EC. p 42.

Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M., Verdugo, K., Coba, P. 2015. Desarrollo de la pitahaya (*Cereus* SP.) en Ecuador. Rev. La Granja, 22 (2): 50-58.

Jiménez, L., González, M., Cruz, S., Santana, R., Villacís L. 2017. Análisis postcosecha de frutos de pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw), a distintos nivel.es de madurez y temperatura. Rev. Selva Andina Biosph. 5 (2):107-115.

Jiménez, L., González, M., Yanez, A., Cruz, S., Villacís L. 2017. Características organolépticas de frutas de pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw.) bajo dos condiciones de almacenamiento. Rev. Selva Andina Biosph. 5 (2): 160-167.

Montesinos, J., Rodríguez, L., Ortiz, R., Fonseca, M., Ruiz, G., Guevara, F. 2015. Revisión bibliográfica pitahaya *(Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. Rev. INCA, 36, 67-76.

Magaña, B., Baldín A., Corrales G., Saucedo V., Sauri, E. 2013. Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undanatus*) almacenadas en ambiente natural. Rev Iber Tecnología Postcosecha. 4(1):21-30

NTE-INEN-025. 2005. Frutas frescas. Pitahaya amarilla. Requisitos. Norma Tecnica Ecuatoriaana, 1: 1-10.

Noboa, A. 2016. Estudio del efecto de irradiación con rayos gamma en la calidad postcosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) entera y cortada. Tesis. Ing. Química. Escuela Politécnica Nacional. Quito, EC. p 229.

Rodríguez, D., Patiño, M., Miranda, D., Fischer, G., y Galvis, J. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en almacenamiento sobre el comportamiento en postcosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín, 58 (2), 2827-2

Serna, L., Torres, L., Ayala, A. 2011. Aplicación de 1-metilciclopropeno, una alternativa A la estacionalidad de la pitahaya amarilla. Revista Alimentos Hoy, 20 (23). 3-20.

Sotomayor, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Otros. 2019. Evaluación físico química de fruta de pitahaya (*Selenecereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. Rev. Scielo. 10 (1): 1039-6542.

Vargas, Y., Pico, J., Díaz, A., Sotomayor, D., Burbano, A., Caicedo, C., Paredes, N., Congo, C., Tinoco, L., Bastidas, S., Chuquimarca, J., Macas, J., Viera, W. 2020. Manual del Cultivo de Pitahaya para la Amazonía Ecuatoriana. Los Sachas - Ecuador: Estación Experimental de la Amazonia.

Vásquez-Castillo, W., Aguilar, K., Vilaplana, R., Viteri, P., Viera, W., Valencia, S. 2016. Calidad del fruto y perdidas postcosecha de pitahaya amarilla (*Stenocereus megalanthus*), en Ecuador. Rev. Agronomía Colombiana. 34 (1):1-3.

Yi-Lu-J., Tzong, L., Ching, L. 2011. Phenology, canopy composition, and fruit quality of yellow pithaya in tropical Taiwan. Rev. HortScience, 46(11), 1497-1502.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS A PARTIR DEL FLUIDO DIGESTIVO DE LARVAS DE *Rhynchophorus palmarum* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

ISOLATION OF MICROORGANISMS FROM THE DIGESTIVE FLUID OF LARVAE OF *Rhynchophorus palmarum* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Marcos David Landívar Valverde[1], David Sancho Aguilera[1], Josselyn Paulina Pico Poma[1], Diego Abelardo Sarabia Guevara[1], Pamela Jacqueline Pintado Vallejo[1]

[1]Universidad Estatal Amazónica, Paso Lateral Km 2 ½ Vía a Napo. Puyo, Pastaza – Ecuador

Email: md.landivarv@uea.edu.ec

Información del articulo

Tipo de artículo:
Nota Técnica

Recibido:
01/10/2021

Aceptado:
28/12/2021

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
12(2):152-157

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.251

Resumen

Se tuvo como objetivo aislar bacterias, levaduras y un hongo ascomiceto, a partir del fluido digestivo de larvas de *Rhynchophorus palmarum*. Las larvas fueron adquiridas en mercados de productos típicos de la Amazonia. Los ejemplares se seleccionaron de acuerdo a su peso y talla aproximados, para luego ser disecados en condiciones de esterilidad y obtener una suspensión de fluido intestinal, que fue diluida y sembrada en medio sólido y líquido. Para el aislamiento microbiano, se consideraron aproximaciones para el cultivo de bacterias y hongos o levaduras, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas y microaerófilas. Las colonias aisladas se llevaron hasta cultivos puros, obteniéndose un total de catorce aislados, representados en su mayoría por bacilos Gram negativos y, en menor proporción por hongos y levaduras. En cuanto a su requerimiento de oxígeno, la mayoría de los aislados corresponde a microorganismos aeróbicos, con una escasa presencia de aislados anaeróbicos y microaerófilos.

Palabras clave: Larvas, aislamiento, microorganismos, *Rhynchophorus, palmarum*

Abstract

The objective was to isolate bacteria, yeasts and an ascomycete fungus from the digestive fluid of *Rhynchophorus palmarum* larvae. The larvae were acquired in typical product markets of the Amazon. The specimens were selected according to their approximate weight and size, to later be dissected under sterile conditions and obtain a suspension of intestinal fluid, which was diluted and sown in solid and liquid medium. For microbial isolation, approaches were considered for the culture of bacteria and fungi or yeasts, both under aerobic, anaerobic and microaerophilic conditions. The isolated colonies were brought up to pure cultures, obtaining a total of fourteen isolates, mostly represented by Gram negative bacilli and, to a lesser extent, by fungi and yeasts. Regarding their oxygen requirement, most of the isolates correspond to aerobic microorganisms, with a scarce presence of anaerobic and microaerophilic isolates.

Keywords: Larvae, isolation, microorganisms, *Rhynchophorus*, *palmarum*.

INTRODUCCIÓN

Los insectos representan la mayor biomasa del planeta, superando con creces a la del resto de formas de vida juntas (Capinera, 2010). Adicionalmente, los insectos desempeñan un rol clave en la descomposición de la biomasa lignocelulósica en los ecosistemas (Fischer *et al*., 2013).

Por otra parte, una de las claves para el éxito evolutivo de los insectos reside en la simbiosis con microorganismos, que proporcionan importantes beneficios, incluyendo la síntesis de sustancias esenciales y, sobre todo, la

degradación y asimilación de sustratos que sirven de alimento a los insectos (Engel y Moran, 2013). De hecho, se ha demostrado que muchas de las interacciones que ocurren entre microorganismos e insectos ocurre a nivel del tracto digestivo, a tal punto que se puede afirmar que la cantidad de microorganismos presentes en el tubo digestivo puede superar con creces a las propias células del insecto, al igual que ocurre en muchos organismos pluricelulares (Dillon y Dillon, 2004).

Por otra parte, la biomasa lignocelulósica va cobrando importancia como una alternativa sostenible y renovable para la producción energética, tanto en la producción de biocombustibles de cuarta generación, así como en la producción de biogás, biohidrógeno y en la producción de biopolímeros (Delidovich *et al*., 2016; Limayem y Ricke, 2012).

Los insectos que degradan la biomasa vegetal son capaces de convertir esta compleja amalgama de sustancias en energía para el sostenimiento de su metabolismo (Oppert *et al*., 2010). Esta capacidad es compartida por diferentes órdenes de insectos, que incluyen lepidópteros, himenópteros, isópteros y coleópteros (Szentner *et al*., 2019). Dentro de este proceso degradativo, la microbiota intestinal endosimbionte de los insectos desempeña un rol clave, pues se ha comprobado la presencia de hongos y bacterias que producen diferentes clases de enzimas involucradas en el proceso de degradación de la biomasa vegetal (Govindarajulu *et al*., 2020).

A nivel de los insectos, los coleópteros son quizá los más especializados en la descomposición de la biomasa lignocelulósica, requiriendo un cóctel enzimático muy complejo para tal efecto (Vatanparast *et al*., 2014). Por otra parte, en el Ecuador, uno de los coleópteros más conocidos es el *Rhynchophorus palmarum*, cuyas larvas son consumidas como alimento por los pobladores de la Amazonia, conocidas como “chontacuro”, “mukinde” o “mayón” (Sancho *et al*., 2015).

Por otra parte, la información disponible deja entrever una compleja interacción entre la microbiota intestinal de los insectos comestibles, que tiende a crear complejos ecosistemas, con marcadas variaciones a nivel de cantidad y diversidad de especies encontradas (Garofalo *et al*., 2019). Adicionalmente, (Jang y Kikuchi, 2020), citan otros efectos de la microbiota intestinal sobre la fisiología de los insectos, que incluyen la degradación de sustancias tóxicas, e incluso la producción de ciertos compuestos antimicrobianos que permiten combatir parásitos y patógenos.

En cuanto a la naturaleza y composición de la microbiota intestinal de los insectos, Garofalo *et al*. (2019) describen que esta se halla principalmente constituida por aerobios mesófilos, que incluyen enterobacterias, bacterias acidolácticas, bacterias esporulantes e inclusive hongos. Pese a ello, la mayoría de los intestinos de insectos contienen relativamente pocas especies microbianas, a comparación de los mamíferos, por ejemplo. No obstante, los tractos digestivos de los insectos varían notablemente en forma y fisiología. Este hecho, sumado a la capacidad colonizadora de los microorganismos oportunistas, puede influenciar enormemente las características de la microbiota presente en los insectos.

En tal sentido, el estudio de la microbiota a nivel de los insectos fitófagos ha cobrado una importancia relevante en la última década, animado por el potencial que supone entender los efectos fisiológicos y ecológicos de la relación microorganismos-insectos, así como la perspectiva de usar a estos microorganismos como potenciales fuentes de enzimas que puedan emplearse en la degradación y sacarificación de la biomasa lignocelulósica (Jang y Kikuchi, 2020; Pal y Karmakar, 2018).

El objetivo de la investigación fue aislar bacterias, levaduras y un hongo ascomiceto, a partir del fluido digestivo de larvas de *Rhynchophorus palmarum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de las larvas y obtención del fluido intestinal

Para este estudio se adquirieron un total de 150 larvas de *Rhynchophorus palmarum*, en los mercados locales de la ciudad de Francisco de Orellana, Ecuador. Las larvas fueron mantenidas en el sustrato natural de fibra de morete (*Mauritia flexuosa*) y trasladadas al laboratorio de Biología de la Universidad Estatal Amazónica, sede Puyo, para su posterior selección y disección.

La selección de las larvas se realizó según su peso y longitud aproximadas, coincidiendo con el octavo y noveno instares larvales descritos para *R. palmarum* (Delalibera *et al*., 2005). Los individuos muertos o con lesiones en sus tejidos fueron descartados, quedando un total de 120 ejemplares para estudio. Las larvas fueron mantenidas en contenedores plásticos con sustrato constituido por fibra de palma *Bactris gasipaes*.

Previo a la disección, las larvas fueron divididas en unidades experimentales, formadas por cinco ejemplares, que fueron colocados en vasos de precipitación de 1 L y luego sometidos a una temperatura de 4ºC 15 minutos, para inducir su inmovilización.

La desinfección se realizó por inmersión en etanol al 70% durante 30 segundos, seguida de un doble lavado con agua destilada estéril. La disección se realizó en una cabina de flujo laminar Heraeus HS9 (Hanau, Alemania).

Durante la disección, se practicó una incisión inicial en la parte anterior del tórax, alrededor de la cabeza de las larvas, seguida de un corte a lo largo del abdomen y terminado alrededor de la sección terminal del abdomen. Se separó cuidadosamente el tubo digestivo del resto del tejido abdominal y finalmente de la cabeza y el segmento anal.

Los tubos digestivos fueron colocados en viales de ensayo con 10 ml de solución salina NaCl [0.9%] estéril y agitados en vórtex durante dos minutos, para obtener una suspensión del fluido intestinal. Los viales fueron etiquetados y conservados a 4,0 ºC.

Aislamiento microbiano a partir del fluido intestinal

Para el aislamiento microbiano se realizaró diluciones seriadas, de la suspensión intestinal, hasta un factor de 10^{-5}. Para el aislamiento de bacterias se empleó medio Tripticasa de soya (Sigma-Aldrich), mientras que el aislamiento fúngico se realizó en medio Patata Dextrosa (Fluka). En ambos casos se consideraron medios agarizados (TSA/PDA) y no agarizados (TSB/PDB).

Se tomaron 100 μL de suspensión intestinal y se sembraron por triplicado en cajas Petri plásticas y en frascos de cultivo Iwaki de 25 cm^2 con tapa rosca, con 30 ml de medio agarizado y no agarizado, respectivamente. Se consideraron atmósferas de cultivo aeróbicas, anaeróbicas y microaerofílicas (Figura 1).

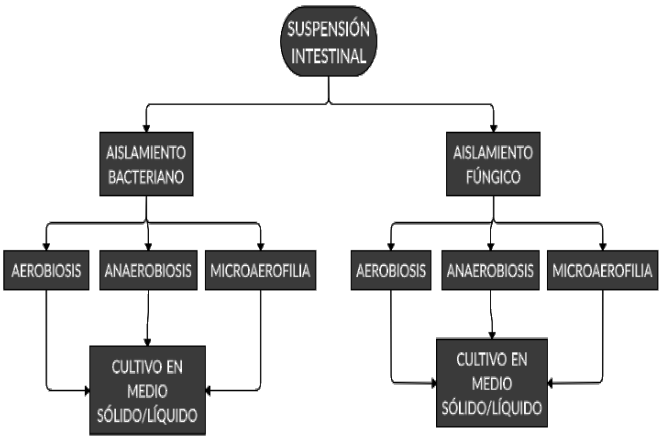


Figura 1. Esquema del aislamiento microbiano

Para cultivos en condiciones de anaerobiosis y microaerofilia se empleó jarras de incubación AnaeroJar AG0025 (Oxoid), con sistemas de generación de atmósfera AnaeroGen AN25US (Oxoid) y CampyGen CN025A (Oxoid), respectivamente. Se realizó pequeñas perforaciones en los bordes de las cajas Petri y se cerraron parcialmente las tapas de los frascos de cultivo celular, para facilitar la difusión de la atmósfera modificada. Para cultivos en atmósfera microaerófila, se consideró un porcentaje del 5% de O_2 y menor al 1% de O_2 para condiciones anaeróbicas.

Se sembraron dos muestras de suspensión intestinal, por cada unidad experimental, incubándose a una temperatura de 30ºC durante 7 días, en una incubadora orbital SKI4 (Argolab), a 0 y 120 rpm para cultivos en medio agarizado y no agarizado, respectivamente. Para el aislamiento microbiano se tuvo en cuenta características morfológicas de las colonias encontradas en las diversas condiciones de cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento microbiano a partir del fluido intestinal

Los microorganismos aislados fueron identificados según una codificación basada en el tipo microbiano y la atmósfera de cultivo en la que fueron aislados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Codificación para aislados microbianos

Origen	Categoría	Atmósfera	Serie	Ejemplo
Rhynchophorus palmarum **(RP)**	Bacterias **(b)** Hongos **(m)**	Aeróbico **(EC)** Microaerofílico **(ED)** Anaeróbico **(AN)**	**001 002 etc.**	**RPbEC-001 RPbAN-001 RPmED-001 RPbED-001 RPmEC-001 RPmAN-001**

Con respecto a la concentración de oxígeno, en condiciones aeróbicas se identificó un total de ocho colonias, mientras que en condiciones de anaerobiosis y microaerofilia se obtuvo una sola colonia en ambos casos. Esta situación tiene relación con lo reportado por Engel y Morán (2013) quienes manifiestan que, pese a que el intestino de los insectos es anaeróbico por naturaleza, sigue siendo un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias aeróbicas o facultativas, debido a la producción de catalasa que les permite generar oxígeno para su respiración. Esto coincide, además con el comportamiento reportado por Ramachandiran *et al*. (2018) para la microbiota bacteriana de *Epilachna vigintioctopunctata* (Coleóptera: Coccinellidae), donde el 50% de los aislados bacterianos resultaron catalasa positivos.

En cuanto a hongos y levaduras, se obtuvieron cuatro colonias en total, de las cuales tres fueron aisladas en condiciones aeróbicas y una en condiciones microaerófilas. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los aislados microbianos

Aislado	Descripción	Tipo	Atmósfera
RPbEC-001	Colonias amarillentas, opcacas, con bordes definidos y crecimiento ramificado	Bacilo Gram -	Aeróbica
RPbEC-002	Colonias rojizas, opacas, de bordes lobulados y crecimiento ramificado	Bacilo Gram -	Aeróbica
RPbEC-003	Colonias anaranjadas, opacas y puntiformes	Bacilo Gram -	Aeróbica
RPbEC-004	Colonias amarillentas, opacas, con bordes lobulados y crecimiento concéntrico	Bacilo Gram -	Aeróbica
RPbEC-005	Colonias redondas, opacas, blanquecinas y con bordes lisos	Bacilo Gram +	Aeróbica
RPbEC-006	Colonias amarillentas, traslúcidas de crecimiento concéntrico	Bacilo Gram +	Aeróbica
RPbEC-007	Colonias redondas, rojizas, opacas y bordes definidos	Bacilo Gram -	Aeróbica
RPbEC-008	Colonias blanquecinas, con bordes lobulados y rodeadas de un halo verdoso	Bacilo Gram -	Aeróbica
RPbED-001	Colonias globulares blanquecinas con bordes lisos	Bacilo Gram -	Microaerófila
RPbAN-001	Colonias amarillentas traslúcidas con bordes arrugados y crecimiento ramificado	Bacilo Gram -	Anaeróbica
RPmEC-001	Moho ascomiceto identificado como parte de la familia Ceratocystidaceae	Hongo	Aeróbica
RPmEC-002	Colonias blanquecinas, rígidas y de aspecto pulverulento	levadura	Aeróbica
RPmEC-003	Colonias amarillentas, rígidas y de aspecto pulverulento	Levadura	Aeróbica
RPmED-001	Colonias amarillentas, opacas con bordes irregulares	Levadura	Microaerófila

El aislamiento de hongos en insectos y particularmente en los coleópteros ha sido reportado previamente en la literatura, pudiendo constituir los principales endosimbiontes fúngicos en ciertas especies, tal como lo reportan Samal y Kumar Sahu, (2020) para *Sitophilus oryzae* (Coleóptera: Curculionidae). Del mismo modo, existe evidencia suficiente para suponer que esta clase de hongos degradan y debilitan los tejidos vegetales, facilitando a los insectos el poder alimentarse de estos (Jacobsen *et al*., 2018).

En lo concerniente a la naturaleza de los aislados microbianos, la mayoría de estos corresponden a bacterias Gram negativas, lo cual ha sido observado de manera similar en otros insectos que se alimentan de la biomasa lignocelulósica, particularmente a nivel de la familia Curculionidae, tal como reportan Sufian *et al*. (2020).

La composición exacta de la microbiota larval de *R. palmarum*, no obstante, permanece sin conocerse; debido a las limitaciones que plantea el aislamiento microbiano por técnicas convencionales y a la necesidad de requerir forzosamente la identificación vía ADN de toda la comunidad microbiana, para estos casos. A pesar de ello, el protocolo de aislamiento microbiano se basó en la premisa que la microbiota intestinal de los insectos puede incluir microorganismos aeróbicos estrictos, facultativos, anaeróbios obligados y microaerófilos, así como hongos y levaduras.

Respecto a los requerimientos de oxígeno de los aislados microbianos, se determinó que la mayoría de estos corresponden a bacterias aeróbicas, pese a haberse encontrado un aerobio estricto y un microaerófilo en el proceso. Estos resultados apoyan el hecho de que la mayoría de la microbiota intestinal de los insectos que se alimentan de la biomasa lignocelulósica está compuesta por aerobios mesófilos y es asimilada a partir del medio en que se desarrollan, no necesariamente incluyendo a microorganismos específicamente endosimbiontes, sino a una abundante cantidad de cepas oportunistas, como lo indican Suárez-Moo *et al*. (2020).

Adicionalmente, el cultivo en medio líquido probó ser poco eficaz para el aislamiento microbiano, dificultando la diferenciación al microscopio y la obtención de los cultivos puros, a diferencia del cultivo en medio sólido, debido al rápido crecimiento de la población microbiana en las condiciones de cultivo.

CONCLUSIONES

Se aislaron microorganismos a partir del fluido digestivo de larvas de *Rhynchophorus palmarum*. Para este propósito se contemplaron medios de cultivo genéricos tanto para hongos como para bacterias, en condiciones de aerobiosis, anaerobiosis y microaerofilia.

Se obtuvo un total de catorce aislados microbianos diferentes, de los cuales ocho corresponden a bacilos

Gram negativos, dos a bacilos Gram positivos, tres aislados identificados como levaduras y uno como moho.

Con respecto a los requerimientos de oxígeno, se determinó que la mayoría de aislados corresponde a microorganismos aeróbicos, con una escasa presencia de organismos anaeróbicos y microaerófilos.

LITERATURA CITADA

Capinera, J. L. 2010. Insects and Wildlife. Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444317688

Delalibera, I., Handelsman, J., & Raffa, K. F. 2005. Contrasts in Cellulolytic Activities of Gut Microorganisms Between the Wood Borer, Saperda vestita (Coleoptera: Cerambycidae), and the Bark Beetles, Ips pini and Dendroctonus frontalis (Coleoptera: Curculionidae). Environmental Entomology, 34(3): 541–547. https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.3.541

Delidovich, I., Hausoul, P. J. C., Deng, L., Pfützenreuter, R., Rose, M., & Palkovits, R. 2016. Alternative Monomers Based on Lignocellulose and Their Use for Polymer Production. In Chemical Reviews. 116(3),1540–1599. DOI: 10.1021/acs.chemrev.5b00354

Dillon, R. J., & Dillon, V. M. 2004. The gut bacteria of insects: nonpathogenic interactions. Annual Review of Entomology, 49(1):71–92. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123416

Engel, P., & Moran, N. A. 2013. The gut microbiota of insects-diversity in structure and function. FEMS Microbiology Reviews, 37(5):699–735. https://doi.org/10.1111/1574-6976.12025

Fischer, R., Ostafe, R., & Twyman, R. M. 2013. Cellulases from insects. En Yellow Biotechnology II (pp. 51-64). Springer, Berlin, Heidelberg.

Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., & Osimani, A. 2019. Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. Food Research International 125:108527. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108527

Govindarajulu, S. N., Varier, K. M., Jayamurali, D., Liu, W., Chen, J., Manoharan, N., Li, Y., & Gajendran, B. 2020. Insect gut microbiome and its applications. Recent Advancements in Microbial Diversity, 379–395. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821265-3.00016-5

Jacobsen, R. M., Sverdrup-Thygeson, A., Kauserud, H., & Birkemoe, T. 2018. Revealing hidden insect–fungus interactions; moderately specialized, modular and anti-nested detritivore networks. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 285(1876). https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2833

Jang, S., & Kikuchi, Y. 2020. Impact of the insect gut microbiota on ecology, evolution, and industry. Current Opinion in Insect Science 41:33–39. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.06.004

Limayem, A., & Ricke, S. C. 2012. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. Progress in Energy and Combustion Science. 38(4):449–467. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.03.002

Oppert, C., Klingeman, W. E., Willis, J. D., Oppert, B., & Jurat-Fuentes, J. L. 2010. Prospecting for cellulolytic activity in insect digestive fluids. Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology, 155(2), 145–154. https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2009.10.014

Pal, S., y Karmakar, P. 2018. Symbionts associated with insect digestive system and their role in insect nutrition. Journal of Entomology and Zoology Studies, 6(5):421–425.

Ramachandiran, S., Sankaraiyah, K., Kavipriya, J., Vijiyalakshmi, U., & Sakunthala, C. 2018. Identification and characterization of gut associated bacteria in Epilachna vigintioctopunctata Fab. (Coleoptera : Coccinellidae). Entomon 43(1): 1-6.

Samal, I., & Kumar Sahu, B. 2020. Symbiosis: It's important nutritional and non-nutritional roles in insects. Journal of Entomology and Zoology Studies, 8(3):1768–1773.

Sancho, D., Gil, M. D. J. A., & Sánchez, L. D. R. F. 2015. Insectos y alimentación. Larvas de Rhynchophorus palmarum L, un alimento de los pobladores de la Amazonía Ecuatoriana. Entomotropica, 135- 149.

Suárez-Moo, P., Cruz-Rosales, M., Ibarra-Laclette, E., Desgarennes, D., Huerta, C., & Lamelas, A. 2020. Diversity and composition of the gut microbiota in the developmental stages of the dung beetle Copris incertus Say (Coleoptera, Scarabaeidae). Frontiers in microbiology, 11:1698.

Sufian, M., Al-Ashraf, A. A., & Zuharah, W. F. 2020. Isolation and identification of the bacterial community associated with the rove beetle, Paederus fuscipes curtis (Coleoptera: Staphylinidae)

in Penang. Malaysian Applied Biology, 49(1):173–181.

Szentner, K., Waśkiewicz, A., Kaźmierczak, S., Wojciechowicz, T., Goliński, P., Lewandowska, E., & Wasielewski, O. 2019. Enzymatic hydrolysis of cellulose using extracts from insects. Carbohydrate Research, 485:107811. https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107811

Vatanparast, M., Hosseininaveh, V., Ghadamyari, M., & Minoo Sajjadian, S. 2014. Plant cell wall degrading enzymes, pectinase and cellulase, in the digestive system of the red palm weevil, Rhynchophorus ferrugineus (Coleoptera: Curculionidae). Plant Protection Science, 50(4):190–198. https://doi.org/10.17221/43/2013-PPS